



**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



DOKTORA TEZİ

**TABAN İZOLASYONLU SIVI DEPOLAMA TANKLARININ
DEPREM DAVRANIŞINA İLAVE SÖNÜMLEYİCİLERİN ETKİSİ**

Elif GÜLER

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Cenk ALHAN**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

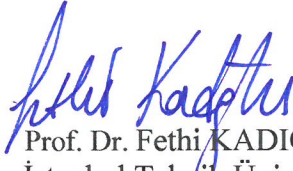
İnşaat Mühendisliği Programı

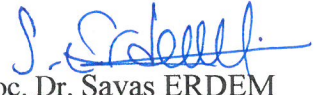
İSTANBUL-2019

Bu çalışma 11.06.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İnşaat Mühendisliği Programı Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

TEZ JÜRİSİ


Prof. Dr. Cenk ALHAN
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi


Prof. Dr. Fethi KADIOĞLU
İstanbul Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi


Doç. Dr. Savaş ERDEM
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi


Dr. Öğr. Üyesi Seyit ÇERİBAŞI
Maltepe Üniversitesi
Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi


Doç. Dr. Turgay ÇOŞGUN
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa’nın abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

Bu tezin bir kısmı, 214M633 numaralı Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Lisansüstü öğrenimim ve tez çalışmalarım boyunca yolumu aydınlatarak akademik hayata adım atmamı sağlayan, bilgi birikimi, çalışma disiplini ve dürüstlüğünü örnek aldığım değerli Danışmanım Sayın Prof. Dr. Cenk ALHAN'a tez çalışmamız süresince gösterdiği sabır ve hoşgörü ile üzerimde bulunan tüm emekleri için en içten dileklerle teşekkürlerimi sunarım.

Değerli görüş ve önerileri ile teze büyük katkı sağlayan tez izleme komitesindeki saygıdeğer hocalarım Sayın Prof. Dr. Fethi KADIOĞLU ile Sayın Doç. Dr. Savaş ERDEM'e ve tez savunma sınavı jürisinde bulunan çok değerli hocalarıma teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Hayatım boyunca edindiğim başarılarda büyük paya sahip olan ve beni her zaman motive ederek destek olan babam Mahmut GÜLER ile annem Nurşen GÜLER'e, her zaman yanımda olan kardeşlerime ve arkadaşlarıma sonsuz teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca, bu tezin bir kısmını desteklemiş olan Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK)'a teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2019

Elif GÜLER

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	viii
TABLO LİSTESİ.....	xiv
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	xv
ÖZET	xviii
SUMMARY	xx
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR.....	5
2.1. SIVI DEPOLAMA TANKLARI	5
2.2. TABAN İZOLASYON SİSTEMLERİ VE BU SİSTEMLERİN SIVI DEPOLAMA TANKLARINA UYGULANMASI.....	9
2.3. İLAVE SÖNÜMLEYİCİLER VE BU SÖNÜMLEYİCİLERİN TABAN İZOLASYONLU SIVI DEPOLAMA TANKLARININ İZOLASYON SİSTEMİNE EKLENMESİ	14
2.4. 3D-BASIS-ME BİLGİSAYAR PROGRAMI.....	20
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	24
3.1. SİSMİK İZOLASYONLU SIVI DEPOLAMA TANKLARINA AİT ÜSTYAPI MODELLERİ.....	24
3.2. SİSMİK İZOLASYONLU SIVI DEPOLAMA TANKLARINA AİT İZOLASYON SİSTEMİ MODELLERİ	30
3.2.1. İlave Viskoz Sönümleyici Kullanılmayan İzolasyon Sistemi Modelleri	30
3.2.2. İlave Viskoz Sönümleyici Kullanılan İzolasyon Sistemi Modelleri	36
3.3. SİSMİK ANALİZLERDE KULLANILAN DEPREM KAYITLARI	38
3.3.1. Tarihi Yakın Fay ve Uzak Fay Deprem Kayıtları	39
3.3.2. Sentetik Yakın Fay Deprem Kayıtları	42
4. BULGULAR.....	47
4.1. İLAVE VİSKOZ SÖNÜMLEYİCİ KULLANILMAYAN TABAN İZOLASYONLU SIVI DEPOLAMA TANKLARININ SİSMİK ANALİZ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	48
4.1.1. Tarihi Yakın Fay Deprem Kayıtları Altında Sismik Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi	48

4.1.2. Tarihi Uzak Fay Deprem Kayıtları Altında Sismik Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi	58
4.1.3. Tarihi Yakın Fay ve Uzak Fay Deprem Kayıtlarına Ait Sismik Analiz Sonuçlarının Karşılaştırmalı Olarak Değerlendirilmesi	67
4.1.4. Sentetik Yakın Fay Deprem Kayıtları Altında Sismik Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi	74
4.2. İLAVE VİSKOZ SÖNÜMLEYİCİ KULLANILAN TABAN İZOLASYONLU SIVI DEPOLAMA TANKLARININ SİSMİK ANALİZ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	84
4.2.1. Tarihi Yakın Fay Deprem Kayıtları Altında Sismik Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi	85
4.2.2. Tarihi Uzak Fay Deprem Kayıtları Altında Sismik Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi	91
4.2.3. Tarihi Yakın Fay ve Uzak Fay Deprem Kayıtlarına Ait Sismik Analiz Sonuçlarının Karşılaştırmalı Olarak Değerlendirilmesi	97
4.2.4. Sentetik Yakın Fay Deprem Kayıtları Altında Sismik Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi	104
4.3. İLAVE VİSKOZ SÖNÜMLEYİCİ KULLANILMAYAN VE KULLANILAN DURUMLARIN ORTALAMA YANITLAR ÜZERİNDEN KARŞILAŞTIRMALI OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ.....	110
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	120
KAYNAKLAR.....	124
EKLER	136
EK 1. Örnek bir ilave viskoz sönümleyici kullanılmayan taban izolasyonlu sıvı depolama tankı modeli için 3D-BASIS-ME programına veri girişi.....	136
EK 2. Örnek bir ilave viskoz sönümleyici kullanılan taban izolasyonlu sıvı depolama tankı modeli için 3D-BASIS-ME programına veri girişi.....	137
EK 3. İlave viskoz sönümleyici kullanılmayan taban izolasyonlu sıvı depolama tanklarının tarihi yakın fay deprem kayıtları altında elde edilen sismik analiz sonuçları.....	139
EK 4. İlave viskoz sönümleyici kullanılmayan taban izolasyonlu sıvı depolama tanklarının tarihi uzak fay deprem kayıtları altında elde edilen sismik analiz sonuçları.....	146
EK 5. İlave viskoz sönümleyici kullanılmayan taban izolasyonlu sıvı depolama tanklarının tarihi yakın fay ve uzak fay deprem kayıtları altında elde edilen sismik analiz sonuçlarının ortalama değerler üzerinden karşılaştırılması.	153
EK 6. İlave viskoz sönümleyici kullanılmayan taban izolasyonlu sıvı depolama tanklarının sentetik yakın fay deprem kayıtları altında elde edilen sismik analiz sonuçları.....	159

EK 7. İlave viskoz sönümleyici kullanılan taban izolasyonlu sıvı depolama tanklarının tarihi yakın fay deprem kayıtları altında elde edilen sismik analiz sonuçları.....	166
EK 8. İlave viskoz sönümleyici kullanılan taban izolasyonlu sıvı depolama tanklarının tarihi uzak fay deprem kayıtları altında elde edilen sismik analiz sonuçları.....	170
EK 9. İlave viskoz sönümleyici kullanılan taban izolasyonlu sıvı depolama tanklarının tarihi yakın fay ve uzak fay deprem kayıtları altında elde edilen sismik analiz sonuçlarının ortalama değerler üzerinden karşılaştırılması.	175
EK 10. İlave viskoz sönümleyici kullanılan taban izolasyonlu sıvı depolama tanklarının sentetik yakın fay deprem kayıtları altında elde edilen sismik analiz sonuçları.....	179
EK 11. İlave viskoz sönümleyici kullanılmayan ve kullanılan durumların ortalama yanıtlar üzerinden karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi.	184
ÖZGEÇMİŞ	192

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 3.1: Sismik olarak izole edilmiş ilave sönümleyici kullanılan sıvı depolama tankına ait genel şematik görünüş.	24
Şekil 3.2: Taban izolasyonlu sıvı depolama tanklarının mekanik modeli (Haroun ve Housner (1981)'den değiştirilerek alınmıştır).	26
Şekil 3.3: Çalkalanma moduna ait parametreler (Haroun ve Housner, 1981).	27
Şekil 3.4: Sıvı-tank etkileşim moduna ait parametreler (Haroun ve Housner, 1981).	27
Şekil 3.5: Ortak izolasyon tabanı üzerinde tek serbestlik dereceli sistemlerden oluşan model (Tsopelas ve diğ. (1994)'ten değiştirilerek alınmıştır).	29
Şekil 3.6: Elastomerik izolatörlerden oluşan izolasyon sistemine ait yerleşim planı (Tsopelas ve diğ. (1994)'ten değiştirilerek alınmıştır).	31
Şekil 3.7: Elastomerik izolatörlerin kuvvet-yer değiştirme ilişkisini temsil eden yumuşak ikili lineer histeretik eğri (Naeim ve Kelly, 1999).	31
Şekil 3.8: Elastomerik izolatör ve ilave viskoz sönümleyicilerin dahil edildiği izolasyon sistemine ait yerleşim planı (Tsopelas ve diğ. (1994)'ten değiştirilerek alınmıştır).	36
Şekil 3.9: Yakın fay (a) TCU052-W, (b) ERZ-NS, (c) TCU101-W, (d) LGP000, (e) RRS228 ve (f) ARL090 deprem kayıtlarına ait hız-zaman grafikleri.	40
Şekil 3.10: Uzak fay (a) BRN-090, (b) RO3-090, (c) CAP000, (d) CHY029-W, (e) WAH-090 ve (f) SSU-090 deprem kayıtlarına ait hız-zaman grafikleri.	41
Şekil 3.11: Tarihi yakın fay deprem kayıtlarına ait %20 sönümlü spektral ivme ve spektral deplasman grafikleri.	41
Şekil 3.12: Tarihi uzak fay deprem kayıtlarına ait %20 sönümlü spektral ivme ve spektral deplasman grafikleri.	42
Şekil 3.13: Tarihi yakın fay ve uzak fay deprem kayıtları için pik yer hızlarının (PGV) faya olan mesafe (r) ile değişimi.	42
Şekil 3.14: $M_w = 7.0$, $M_w = 6.5$ ve $M_w = 6.0$ deprem büyüklükleri için (a) $r = 3$ km, (b) $r = 5$ km, (c) $r = 7$ km ve (d) $r = 9$ km'de elde edilen deprem kayıtlarına ait hız-zaman grafikleri.	45
Şekil 3.15: $M_w = 7.0$, $M_w = 6.5$ ve $M_w = 6.0$ deprem büyüklükleri için (a) $r = 3$ km, (b) $r = 5$ km, (c) $r = 7$ km ve (d) $r = 9$ km'de elde edilen deprem kayıtlarına ait ivme-zaman grafikleri.	46

Şekil 4.1: Yakın fay deprem kayıtları altında (a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, (b) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.004$, (c) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$ ve (d) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.004$ için elde edilen pik taban deplasmanı yanıtları.....	53
Şekil 4.2: Yakın fay deprem kayıtları altında (a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, (b) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.004$, (c) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$ ve (d) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.004$ için elde edilen pik çalkantı deplasmanı yanıtları.....	54
Şekil 4.3: Yakın fay deprem kayıtları altında (a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, (b) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.004$, (c) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$ ve (d) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.004$ için elde edilen pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti yanıtları.....	55
Şekil 4.4: Yakın fay deprem kayıtları altında (a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, (b) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.004$, (c) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$ ve (d) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.004$ için elde edilen pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtları.....	56
Şekil 4.5: Yakın fay deprem kayıtları altında (a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, (b) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.004$, (c) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$ ve (d) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.004$ için elde edilen pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtları.....	57
Şekil 4.6: Uzak fay deprem kayıtları altında (a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, (b) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.004$, (c) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$ ve (d) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.004$ için elde edilen pik taban deplasmanı yanıtları.....	62
Şekil 4.7: Uzak fay deprem kayıtları altında (a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, (b) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.004$, (c) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$ ve (d) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.004$ için elde edilen pik çalkantı deplasmanı yanıtları.....	63
Şekil 4.8: Uzak fay deprem kayıtları altında (a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, (b) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.004$, (c) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$ ve (d) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.004$ için elde edilen pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti yanıtları.....	64
Şekil 4.9: Uzak fay deprem kayıtları altında (a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, (b) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.004$, (c) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$ ve (d) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.004$ için elde edilen pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtları.....	65
Şekil 4.10: Uzak fay deprem kayıtları altında (a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, (b) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.004$, (c) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$ ve (d) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.004$ için elde edilen pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtları.....	66
Şekil 4.11: Yakın fay ve uzak fay tarihi deprem kayıtları altında farklı h/R ve H/R değerleri için elde edilen (a) pik taban deplasmanı, (b) pik çalkantı deplasmanı, (c) pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti, (d) pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti ve (e) pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtlarının ortalama değerleri.....	69
Şekil 4.12: (a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, yakın fay deprem kayıtları, (b) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, uzak fay deprem kayıtları, (c) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, yakın fay deprem kayıtları ve (d) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, uzak fay deprem kayıtları için elde edilen ortalama pik taban deplasmanı yanıtları.....	70

Şekil 4.13: (a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, yakın fay deprem kayıtları, (b) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, uzak fay deprem kayıtları, (c) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, yakın fay deprem kayıtları ve (d) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, uzak fay deprem kayıtları için elde edilen ortalama pik çalkantı deplasmanı yanıtları.....	71
Şekil 4.14: (a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, yakın fay deprem kayıtları, (b) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, uzak fay deprem kayıtları, (c) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, yakın fay deprem kayıtları ve (d) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, uzak fay deprem kayıtları için elde edilen ortalama pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti yanıtları.....	72
Şekil 4.15: (a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, yakın fay deprem kayıtları, (b) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, uzak fay deprem kayıtları, (c) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, yakın fay deprem kayıtları ve (d) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, uzak fay deprem kayıtları için elde edilen ortalama pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtları.	73
Şekil 4.16: (a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, yakın fay deprem kayıtları, (b) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, uzak fay deprem kayıtları, (c) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, yakın fay deprem kayıtları ve (d) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, uzak fay deprem kayıtları için elde edilen ortalama pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtları.	74
Şekil 4.17: Sentetik deprem kayıtları altında (a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, (b) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.004$, (c) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$ ve (d) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.004$ için elde edilen pik taban deplasmanı yanıtları.....	79
Şekil 4.18: Sentetik deprem kayıtları altında (a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, (b) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.004$, (c) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$ ve (d) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.004$ için elde edilen pik çalkantı deplasmanı yanıtları.....	80
Şekil 4.19: Sentetik deprem kayıtları altında (a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, (b) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.004$, (c) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$ ve (d) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.004$ için elde edilen pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti yanıtları.....	81
Şekil 4.20: Sentetik deprem kayıtları altında (a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, (b) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.004$, (c) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$ ve (d) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.004$ için elde edilen pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtları.....	82
Şekil 4.21: Sentetik deprem kayıtları altında (a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, (b) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.004$, (c) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$ ve (d) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.004$ için elde edilen pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtları.	83
Şekil 4.22: Yakın fay deprem kayıtları altında ilave viskoz sönümleyici kullanılan (a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$ ve (b) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$ sistemler için elde edilen pik taban deplasmanı yanıtları.....	85
Şekil 4.23: Yakın fay deprem kayıtları altında ilave viskoz sönümleyici kullanılan (a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$ ve (b) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$ sistemler için elde edilen pik çalkantı deplasmanı yanıtları.....	86
Şekil 4.24: Yakın fay deprem kayıtları altında ilave viskoz sönümleyici kullanılan (a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$ ve (b) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$ sistemler için elde edilen pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti yanıtları.....	87

Şekil 4.25: Yakın fay deprem kayıtları altında ilave viskoz sönümleyici kullanılan (a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$ ve (b) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$ sistemler için elde edilen pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtları.....	89
Şekil 4.26: Yakın fay deprem kayıtları altında ilave viskoz sönümleyici kullanılan (a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$ ve (b) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$ sistemler için elde edilen pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtları.	91
Şekil 4.27: Uzak fay deprem kayıtları altında ilave viskoz sönümleyici kullanılan (a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$ ve (b) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$ sistemler için elde edilen pik taban deplasmanı yanıtları.....	92
Şekil 4.28: Uzak fay deprem kayıtları altında ilave viskoz sönümleyici kullanılan (a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$ ve (b) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$ sistemler için elde edilen pik çalkantı deplasmanı yanıtları.....	93
Şekil 4.29: Uzak fay deprem kayıtları altında ilave viskoz sönümleyici kullanılan (a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$ ve (b) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$ sistemler için elde edilen pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti yanıtları.	94
Şekil 4.30: Uzak fay deprem kayıtları altında ilave viskoz sönümleyici kullanılan (a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$ ve (b) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$ sistemler için elde edilen pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtları.....	95
Şekil 4.31: Uzak fay deprem kayıtları altında ilave viskoz sönümleyici kullanılan (a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$ ve (b) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$ sistemler için elde edilen pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtları.....	96
Şekil 4.32: Yakın fay ve uzak fay tarihi deprem kayıtları altında farklı H/R değerleri için elde edilen (a) pik taban deplasmanı, (b) pik çalkantı deplasmanı, (c) pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti, (d) pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti ve (e) pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtlarının ortalama değerleri.....	98
Şekil 4.33: (a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, yakın fay deprem kayıtları, (b) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, uzak fay deprem kayıtları, (c) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, yakın fay deprem kayıtları ve (d) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, uzak fay deprem kayıtları için elde edilen ortalama pik taban deplasmanı yanıtları.....	99
Şekil 4.34: (a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, yakın fay deprem kayıtları, (b) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, uzak fay deprem kayıtları, (c) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, yakın fay deprem kayıtları ve (d) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, uzak fay deprem kayıtları için elde edilen ortalama pik çalkantı deplasmanı yanıtları.....	100
Şekil 4.35: (a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, yakın fay deprem kayıtları, (b) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, uzak fay deprem kayıtları, (c) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, yakın fay deprem kayıtları ve (d) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, uzak fay deprem kayıtları için elde edilen ortalama pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti yanıtları.....	101
Şekil 4.36: (a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, yakın fay deprem kayıtları, (b) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, uzak fay deprem kayıtları, (c) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, yakın fay deprem	

kayıtları ve (d) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, uzak fay deprem kayıtları için elde edilen ortalama pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtları.	102
Şekil 4.37: (a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, yakın fay deprem kayıtları, (b) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, uzak fay deprem kayıtları, (c) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, yakın fay deprem kayıtları ve (d) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, uzak fay deprem kayıtları için elde edilen ortalama pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtları.	103
Şekil 4.38: Sentetik deprem kayıtları altında ilave viskoz sönümleyici kullanılan (a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$ ve (b) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$ sistemler için elde edilen pik taban deplasmanı yanıtları.....	105
Şekil 4.39: Sentetik deprem kayıtları altında ilave viskoz sönümleyici kullanılan (a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$ ve (b) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$ sistemler için elde edilen pik çalkantı deplasmanı yanıtları.....	106
Şekil 4.40: Sentetik deprem kayıtları altında ilave viskoz sönümleyici kullanılan (a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$ ve (b) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$ sistemler için elde edilen pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti yanıtları.	107
Şekil 4.41: Sentetik deprem kayıtları altında ilave viskoz sönümleyici kullanılan (a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$ ve (b) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$ sistemler için elde edilen pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtları.....	108
Şekil 4.42: Sentetik deprem kayıtları altında ilave viskoz sönümleyici kullanılan (a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$ ve (b) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$ sistemler için elde edilen pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtları.	109
Şekil 4.43: $T_0 = 2$ s ve $T_0 = 4$ s izolasyon periyoduna sahip sistemlerin yakın fay (a ve d), uzak fay (b ve e) ve sentetik (c ve f) deprem kayıtları altında farklı Q/W ve farklı ζ oranları için elde edilen ortalama pik taban deplasmanı yanıtları (Not: ζ değerleri $Q/W = \%5$ 'e ek olarak uygulanmıştır).	114
Şekil 4.44: $T_0 = 2$ s ve $T_0 = 4$ s izolasyon periyoduna sahip sistemlerin yakın fay (a ve d), uzak fay (b ve e) ve sentetik (c ve f) deprem kayıtları altında farklı Q/W ve farklı ζ oranları için elde edilen ortalama pik çalkantı deplasmanı yanıtları (Not: ζ değerleri $Q/W = \%5$ 'e ek olarak uygulanmıştır).	115
Şekil 4.45: $T_0 = 2$ s ve $T_0 = 4$ s izolasyon periyoduna sahip sistemlerin yakın fay (a ve d), uzak fay (b ve e) ve sentetik (c ve f) deprem kayıtları altında farklı Q/W ve farklı ζ oranları için elde edilen ortalama pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti yanıtları (Not: ζ değerleri $Q/W = \%5$ 'e ek olarak uygulanmıştır).	116
Şekil 4.46: $T_0 = 2$ s ve $T_0 = 4$ s izolasyon periyoduna sahip sistemlerin yakın fay (a ve d), uzak fay (b ve e) ve sentetik (c ve f) deprem kayıtları altında farklı Q/W ve farklı ζ oranları için elde edilen ortalama pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtları (Not: ζ değerleri $Q/W = \%5$ 'e ek olarak uygulanmıştır).	117
Şekil 4.47: $T_0 = 2$ s ve $T_0 = 4$ s izolasyon periyoduna sahip sistemlerin yakın fay (a ve d), uzak fay (b ve e) ve sentetik (c ve f) deprem kayıtları altında farklı Q/W ve farklı	

ζ oranları için elde edilen ortalama pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtları (Not: ζ değerleri $Q/W = \%5$ 'e ek olarak uygulanmıştır).....	118
--	-----



TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3.1: Sıvı depolama tank modellerine ait fiziksel ağırlık değerleri.*	26
Tablo 3.2: Üstyapıya ait çalkantı modu ile ilgili karakteristik değerler.*	29
Tablo 3.3: $h/R = 0.001$ için üstyapıya ait sıvı-tank modu ve rijit kısım ile ilgili karakteristik değerler.*	29
Tablo 3.4: $h/R = 0.004$ için üstyapıya ait sıvı-tank modu ve rijit kısım ile ilgili karakteristik değerler.*	30
Tablo 3.5: $T_0 = 2$ s izolasyon periyotlu sisteme ait karakteristik değerler.*	33
Tablo 3.6: $T_0 = 4$ s izolasyon periyotlu sisteme ait karakteristik değerler.*	34
Tablo 3.7: h/R oranı 0.001 olan üstyapı modelleri için elde edilen toplam ilave viskoz sönüm miktarları.*	37
Tablo 3.8: h/R oranı 0.004 olan üstyapı modelleri için elde edilen toplam ilave viskoz sönüm miktarları.*	38
Tablo 3.9: Tarihi yakın fay ve uzak fay deprem kayıtlarına ait özellikler.	39
Tablo 3.10: Sentetik hız pulslarının, seçilmiş moment büyüklüğü ve fay hattına olan mesafelere göre belirlenmiş maksimum genlik (V_p) ve puls periyodu (T_p) değerleri.	45

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
c	: Tek bir sönümleyici için ilave viskoz sönüm katsayısı
C	: İzolasyon sistemine ait toplam ilave viskoz sönüm katsayısı
d	: Maksimum kuvvete karşılık gelen maksimum yer değiştirme değeri
D	: Yer değiştirme
D_y	: Akma yer değiştirmesi
E	: Çelik elastisite modülü
F	: Kuvvet
F_D	: Viskoz sönümleyicide oluşan kuvvet
F_{max}	: Maksimum kuvvet
f_y	: Tek bir izolatöre ait akma dayanımı
F_y	: İzolasyon sisteminin akma dayanımı
g	: Yerçekimi ivmesi
h	: Çelik tank cidar kalınlığı
H	: Sıvı (su) yüksekliği
h_b	: Sıvı depolama tankının altındaki tabanın kalınlığı
H_f	: Sıvı-tank etkileşim moduna ait efektif kütleliğin uygulandığı etkin yükseklik
H_r	: Rijit-sıvı moduna ait efektif kütleliğin uygulandığı etkin yükseklik
H_s	: Çalkantı moduna ait efektif kütleliğin uygulandığı etkin yükseklik
h/R	: Çelik tank cidar kalınlığının tank yarıçapına oranı (tankın esnekliği)
H/R	: Sıvı yüksekliğinin tank yarıçapına oranı (tankın narinliği)
K_1	: İzolasyon sisteminin akma öncesi rijitliği
K_2	: İzolasyon sisteminin akma sonrası rijitliği
K_f	: Sıvı-tank etkileşim modu rijitliği
K_s	: Çalkantı modu rijitliği
L	: Tank yüksekliği
m	: Tankın içinde bulunan toplam sıvı kütlesi
M	: Efektif kütle
m_f	: Sıvı-tank etkileşim moduna ait efektif kütle
m_r	: Rijit-sıvı moduna ait efektif kütle, rijit davranış gösteren sıvı kütlesi
m_s	: Çalkantı moduna ait efektif kütle

m_w	: Toplam su kütlesi
M_w	: Deprem moment büyüklüğü
Q	: İzolasyon sisteminin karakteristik kuvvet değeri
Q/W	: Karakteristik kuvvet oranı (karakteristik kuvvetin yapı toplam ağırlığına oranı)
r	: Fay hattına olan en yakın mesafe
R	: Tank yarıçapı
R_b	: Sıvı depolama tankının altındaki tabanın yarıçapı
s	: Hız pulsının başlangıç genliği
S_a	: Spektral ivme
S_d	: Spektral deplasman
t	: Zaman (saniye)
T_0	: Akma sonrası izolasyon periyodu (rijit-cisim-periyodu)
T_f	: Sıvı-tank etkileşim modu periyodu
t_p	: Pik yer hızının oluştuğu zaman
T_p	: Puls periyodu
T_s	: Sıvının çalkalanma modu periyodu
V_D	: Viskoz sönümleyicideki relatif hız
V_p	: Maksimum yer hareketi hızı
W	: İzolasyon sistemi üzerindeki toplam ağırlıktan esnek olan çalkantı modu ağırlığı çıkarılarak elde edilen efektif ağırlık
W_{cb}	: Sıvı depolama tankının altındaki rijit betonarme tabana ait ağırlık
W_f	: Sıvı-tank etkileşim modu ağırlığı
W_r	: Rijit-sıvı moduna ait ağırlık, rijit davranış gösteren sıvı ağırlığı
W_s	: Çalkalanma modu ağırlığı
W_{st}	: Toplam çelik tank ağırlığı
W_{str}	: Çelik tank çatı ağırlığı
W_{stw}	: Çelik tank duvar ağırlığı
W_t	: İzolasyon sistemi üzerindeki toplam fiziksel ağırlık
W_w	: Tankın içinde bulunan su ağırlığı
α	: Akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranı
β_f	: Sıvı-tank etkileşim moduna ait kritik sönüm oranı
β_s	: Çalkantı moduna ait kritik sönüm oranı
ρ	: Sıvı yoğunluğu
ρ_c	: Beton birim ağırlığı

ρ_s	: Çelik birim ağırlığı
ρ_w	: Su birim ağırlığı
$\dot{u}_g$	: Yer hareketi hızı
$\ddot{u}_g$	: Yer hareketi ivmesi
ω_0	: Akma sonrası açısal frekans
ω_f	: Sıvı-tank etkileşim modu hakim frekansı
ω_p	: Sinüzoidin frekansı
ω_s	: Çalkalanma modu hakim frekansı
ζ	: İlave viskoz sönüm oranı
ζ_p	: Azalan sinüzoidin sönüm faktörü

Kısaltmalar	Açıklama
-------------	----------

PGA	: Pik yer ivmesi
PGV	: Pik yer hızı

ÖZET

DOKTORA TEZİ

TABAN İZOLASYONLU SIVI DEPOLAMA TANKLARININ DEPREM DAVRANIŞINA İLAVE SÖNÜMLEYİCİLERİN ETKİSİ

Elif GÜLER

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Cenk ALHAN

Son yıllarda, hayati, stratejik ve ekonomik yönlerden oldukça önemli olan sıvı depolama tanklarının taban izolasyonu yöntemi ile depreme karşı korunmaları bir alternatif olarak gündeme gelmiştir. Sıvı depolama tanklarının diğer tür yapılardan en önemli farkı, tankın kendisinin dinamik tepkisine ek olarak tank içerisindeki sıvının çalkantı titreşiminin de yapının toplam dinamik davranışında önemli bir rolünün olmasıdır. Taban izolasyonlu olarak tasarlanmaları halinde, bu tür yapıların uzun izolasyon periyodu sayesinde yüksek frekans içeriğine sahip tipik uzak fay depremlerinden etkin bir şekilde korunması genellikle mümkün olabilmektedir. Ancak, yakın fay depremleri söz konusu olduğunda, ileri doğrultu etkisi olarak da bilinen ve bu tür depremlerde gözlemlenen büyük genlikli (genellikle 60 cm/s ve üstü) ve uzun periyotlu (genellikle 2 s ~ 4 s) hız pulsaları, taban izolasyonlu sıvı depolama tanklarının yine bu aralıkta olan izolasyon periyotları (genellikle 2 s ~ 4 s) ile çakışabilir. Bu durumda, çok büyük izolasyon sistemi deplasmanları oluşabileceğinden izolatörlerin yırtılması ve/veya burkulması gibi tank güvenliğini doğrudan tehdit eden problemler ortaya çıkabilir. Dahası, sıvı depolama tanklarının dinamik davranışının önemli bir parçası olan çalkantı titreşimlerinin periyotları da uzun olduğundan, deprem puls periyotları bu çalkantı periyotları ile de çakışabilir ve çok büyük çalkantı deplasmanları ortaya çıkabilir. Önceki araştırmacılar bina türü yapılarda izolasyon sistemine dahil edilen ilave sönümleyiciler sayesinde izolasyon sistemi deplasmanlarını azaltmanın mümkün olduğunu belirtmişler, ancak öte yandan bu durumun bina üstyapı yanıtlarında artışa yol açabileceğine de değinmişlerdir. Benzer davranışın tanklar için olabileceği düşünüldüğünden, tez kapsamında sıvı depolama tanklarına ait izolasyon sistemine

dahil edilen farklı ilave sönüm oranlarına sahip ilave sönümleyicilerin izolatör deplasmanlarını azaltmadaki etkinliği ile çalkantı deplasmanı, izolasyon sistemi kesme kuvveti, sıvı-tank kesme kuvveti ve çalkantı kaynaklı kesme kuvveti yanıtları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sonuçlar ilave sönümleyici kullanılmayan durum ile karşılaştırmalı olarak da değerlendirilmiştir. Ayrıca, farklı kombinasyonları taban izolasyonlu sıvı depolama tankının dinamik davranışını farklı şekilde etkileyebilecek önemli üstyapı ve izolasyon sistemi parametrelerinin etkilerinin incelendiği çok kapsamlı parametrik bir inceleme de çalışmaya dahil edilmiştir. Mevcut literatüre özgün diğer bir katkı olarak, taban izolasyonlu sıvı depolama tanklarının tarihi yakın fay depremleri altındaki davranışları uzak fay depremleri altındaki davranışları ile karşılaştırmalı olarak incelenmiş ve bunun yanı sıra, sentetik olarak üretilen yakın fay depremleri sayesinde de, farklı moment büyüklüklerindeki yakın fay depremlerinin fay hattına olan en yakın mesafeye göre taban izolasyonlu sıvı depolama tanklarının üzerinde yaratacakları sismik etki de sistematik olarak incelenmiştir. Dolayısıyla farklı üstyapı geometrisine ve farklı izolasyon sistemi karakteristik özelliklerine sahip ilave sönümleyici kullanılmayan ve ilave sönümleyici kullanılan taban izolasyonlu sıvı depolama tanklarının yakın fay ve uzak fay depremleri altındaki davranışlarını incelemenin amaçlandığı çalışmada, doğrusal olmayan deprem analizleri gerçekleştirilmiştir. Bulgular, ilave sönümleyicilerin eklenmesinin ve ilave sönümleyici kullanılmayan durumda karakteristik kuvvet oranının artırılmasının yakın fay deprem kayıtları altında izolatör deplasmanlarını önemli miktarda sınırlandırabildiğini, ancak üstyapı yanıtlarında bazı durumlarda artışlara yol açabildiğini göstermiştir.

Haziran 2019, 193 sayfa.

Anahtar kelimeler: Sıvı depolama tankları, taban izolasyonu, ilave sönümleyiciler, yakın fay deprem kayıtları, sentetik deprem kayıtları

SUMMARY

Ph.D. THESIS

EFFECT OF SUPPLEMENTAL DAMPING ON THE EARTHQUAKE BEHAVIOR OF BASE-ISOLATED LIQUID STORAGE TANKS

Elif GÜLER

Istanbul University-Cerrahpasa

Institute of Graduate Studies

Department of Civil Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Cenk ALHAN

In recent years, the protection of liquid storage tanks, that are crucial in vital, strategic and economic aspects, by the method of base-isolation against earthquakes has come up as an alternative. The most important difference of liquid storage tanks from other structures is that the sloshing vibrations, in addition to the tank response, play an important role in the total dynamic response. When designed as base-isolated, it is possible that these types of structures be effectively protected from the far-field earthquakes with high frequency content. However, when near-field earthquakes are considered, large-amplitude (generally 60 cm/s or higher) and long-period (generally 2 s ~ 4 s) velocity pulses (also known as forward directivity effect) may coincide with the isolation periods of the base-isolated liquid storage tanks which are also in this range (generally 2 s ~ 4 s). In this case, since very large isolation system displacements may generate, problems -which directly threaten the tank safety including rupture and/or buckling of isolators- may come into scene. Furthermore, since the fluid sloshing periods, which constitute an important portion of the dynamic behavior of liquid storage tanks, are also long, the earthquake pulse periods may also coincide with the fluid sloshing periods. This may result in very large sloshing displacements. Previous researchers noted that it is possible to reduce the displacements of the isolation system means of additional dampers included in the isolation system in building type structures but they also mentioned that this situation may lead to increase in building superstructure responses. Since it is thought that similar behavior might be valid for tanks, in this thesis, the effect of additional dampers with different additional damping

ratios included in the isolation system of liquid storage tanks in reducing isolator displacements and their effects on sloshing displacement, isolation system shear force, fluid-tank shear force and sloshing fluid shear force responses are investigated. The results are evaluated comparatively with no-additional damper case. In addition, a comprehensive parametric examination was performed to examine the effect of different combinations of important parameters of the superstructure and isolation system on the dynamic behavior of the base-isolated liquid storage tanks. As an additional original contribution to the current literature, the behavior of the base-isolated liquid storage tanks under the historical near-field earthquakes are examined in comparison with their behavior under far-field earthquakes and besides, thanks to the near-field earthquakes produced synthetically, the effect of the near-field earthquakes with different moment magnitudes on the base-isolated liquid storage tanks according to the closest distance to the fault line was systematically investigated. Accordingly nonlinear earthquake analyzes are performed in this study aiming to investigate the behavior of base-isolated liquid storage tanks with and without additional dampers, which have different superstructure geometry and different isolation system characteristics, under the near-field and far-field earthquakes. The findings show that using additional dampers and increase of the characteristic strength ratio in the absence of additional dampers can significantly limit the isolator displacements under near-field earthquake records, but may cause increases in superstructure responses in some cases.

June 2019, 193 pages.

Keywords: Liquid storage tanks, base isolation, supplemental dampers, near-field earthquake records, synthetic earthquake records

1. GİRİŞ

Sıvı depolama tankları, kimyasal maddeleri, petrol ürünlerini, zehirli ve yanıcı sıvıları veya su dağıtım sistemlerindeki suyu depolamak amacıyla ya da nükleer santrallerde kullanılan hayati ve stratejik olarak büyük öneme sahip yapısal sistemlerdir (Malhotra ve diğ., 2000; Shrimali ve Jangid, 2004; Jaiswal ve diğ., 2007a; Jaiswal ve diğ., 2007b; Ghaemmaghami ve Kianoush, 2010; Güler ve diğ., 2017a). Endüstriyel üretimin işleyişinde önemli bir rol oynayan sıvı depolama tanklarının depremlerin zararlı etkilerine maruz kalarak hasara uğramaları durumunda yenilenmeleri ve/veya onarılmaları için gereken maliyet kayda değer miktarda olmaktadır. Ayrıca, üretimde oluşacak aksaklıklar nedeniyle ortaya çıkabilecek ikincil maliyetler de göz önüne alındığında bu tür yapıların korunmasının ekonomik açıdan büyük önem arz ettiği görülmektedir. Son yıllarda, sıvı depolama tanklarının depreme karşı etkin bir şekilde korunması için taban izolasyon sistemlerinin kullanılması ile ilgili araştırmalar yoğunlaşmıştır (Örneğin, Panchal ve Jangid, 2008; Shekari ve diğ., 2010; Saha ve diğ., 2012; Fallahian ve diğ., 2013; Waghmare ve diğ., 2013; Panchal ve Soni, 2014; Paolacci, 2015; Bagheri ve Farajian, 2016; Saha ve diğ., 2016; Güler ve diğ., 2017a; Güler ve diğ., 2017b; Hashemi ve Aghashiri, 2017; Kalogerakou ve diğ., 2017; Alhan ve diğ., 2018; Compagnoni ve diğ., 2018; Öncü-Davas ve diğ., 2018).

Diğer yapı türlerinden farklı olarak sıvı depolama tanklarında, tankın kendisine ait dinamik tepkinin yanı sıra tank içerisindeki sıvının çalkantı titreşimi de yapının toplam dinamik davranışına katkıda bulunmaktadır. Taban izolasyonlu olarak tasarlanmaları halinde uzun izolasyon periyotlarına sahip olacak bu tür yapılar, yüksek frekans içeriğine sahip tipik uzak fay depremlerinden genellikle etkin bir şekilde korunabilmektedirler. Ancak, ileri doğrultu etkisi olarak da bilinen büyük genlikli (genellikle 60 cm/s ve üstü) ve uzun periyotlu (genellikle 2 s ~ 4 s) hız pulsları içeren yakın fay depremleri (Makris, 1997) söz konusu olduğunda taban izolasyonlu sıvı depolama tanklarının yine bu aralıkta olan izolasyon periyotları (genellikle 2 s ~ 4 s) ile çakışabilmesi olasıdır (Hall, 1998; Somerville ve Graves, 2003). Çok büyük izolasyon sistemi deplasmanları oluşturabilecek olan bu durumda izolatörlerin yırtılması ve/veya burkulması gibi tank güvenliğini doğrudan tehdit eden problemler ortaya çıkabilir. Dahası, sıvı depolama tanklarının dinamik davranışının önemli bir parçası olan çalkantı titreşimlerinin

periyotları da uzun olduğundan, deprem puls periyotları bu çalkantı periyotları ile de çakışabilir ve çok büyük çalkantı deplasmanları ortaya çıkabilir.

Yapılan literatür taramasında, sismik olarak izole edilmiş bina türü yapılarda izolasyon sistemine dahil edilebilecek ilave sönümleyiciler sayesinde bu yapıların izolasyon sistemi deplasmanlarının azaltılabileceğini gösteren çalışmalar tespit edilmiştir (Hall ve Ryan, 2000; Alhan ve Gavin, 2004; Providakis, 2008; Mazza ve Vulcano, 2009; Providakis, 2009; Lu ve diğ., 2013; Güler ve Alhan, 2015; Wolff ve diğ., 2015; Zelleke ve diğ., 2015; Liao ve Wang, 2016). Ancak ilave sönümleyicilerin izolasyonlu sıvı depolama tankları kapsamında incelendiği çalışmalar kısıtlı sayıdadır. Tsopelas ve diğ. (1994), 3D-BASIS-ME akademik yazılımı kullanılarak taban izolasyonlu sıvı depolama tanklarına ilave viskoz sönümleyicilerin nasıl dahil edilebileceğini gösteren örnek bir çalışma sunmuşlardır. Gazi ve diğ. (2015) ise izolasyon sistemine doğrusal olmayan davranış sergileyen ilave sönümleyicilerin dahil edildiği sismik olarak izole edilmiş örnek sıvı depolama tanklarının yanıtlarını inceledikleri bir çalışma sunmuşlardır. Özellikle yakın fay deprem etkileri altındaki durumun kapsamlı ve sistematik bir şekilde irdelendiği bir çalışmaya ise rastlanmamıştır. Ayrıca, bina türü yapılarda izolasyon sistemine dahil edilen ilave sönümleyicilerin, özellikle çok fazla sönüm kullanılması durumunda, izolasyon sistemi deplasmanlarını azaltırken kat ivmeleri ve görelî kat ötelemeleri gibi üstyapı yanıtlarını arttırabilme ihtimallerinin de mevcut olduğu birçok araştırmacı tarafından da belirtilmiştir (Örneğin, Kelly, 1999; Alhan ve Gavin, 2004; Providakis, 2008; Mazza ve Vulcano, 2009; Providakis, 2009; Güler ve Alhan, 2015; Wolff ve diğ., 2015). Dolayısıyla çalışma kapsamında, sıvı depolama tanklarına ait izolasyon sistemine dahil edilen farklı ilave sönüm oranlarına sahip ilave sönümleyicilerin izolatör deplasmanlarını azaltmadaki etkinliği ile üstyapı yanıtları üzerindeki etkilerinin ilave sönümleyici kullanılmayan durum ile karşılaştırmalı olarak incelenmesi önem arz etmektedir.

Yukarıda önemi ortaya konmaya çalışılan hususların incelendiği bu tez çalışmasının amacı taban izolasyonlu sıvı depolama tanklarının deprem davranışına ilave sönümleyicilerin etkisini araştırmak amacıyla ilave viskoz sönümleyici kullanılmayan ve ilave viskoz sönümleyici kullanılan sıvı depolama tankı modellerinin karşılaştırmalı olarak incelenmesidir. Kullanılan taban izolasyonlu sıvı depolama tankı modelleri, ince cidarlı ve dairesel silindirik geometriye sahip çelik sıvı depolama tankı (üstyapı) ve bu tankların üzerine oturtulduğu betonarme taban plakasının altına yerleştirilmiş kauçuk esaslı izolatörler ile eğer varsa ilave sönümleyicilerden

oluşan izolasyon sistemi olmak üzere iki ana kısımdan oluşmaktadır. Burada, üstyapının sismik davranışını belirleyen temel parametreler, sıvı yüksekliğinin tank yarıçapına oranı, H/R (0.50, 0.75, 1.00, 1.25, 1.50, 1.75 ve 2.00 değerleri için dikkate alınmıştır) ve tank kalınlığının tank yarıçapına oranı, h/R (0.001 ve 0.004 değerleri için incelenmiştir) olarak kabul edilirken, izolasyon sisteminin karakteristik özellikleri ise, ilave sönümleyici kullanılmayan ve ilave sönümleyici kullanılan iki ayrı durum için dikkate alınmıştır. İlave sönümleyici kullanılmayan durumda, izolasyon periyodu, T_0 (2 s ve 4 s değerleri için dikkate alınmıştır) ve izolasyon sistemi sönüm seviyesinin bir göstergesi olan karakteristik kuvvetin yapı toplam ağırlığına oranı, Q/W (%5, %7.5 ve %10 olduğu durumlar seçilerek incelemeye dahil edilmiştir) parametreleri incelenmiştir. İlave sönümleyici kullanılan durumda ise, yine izolasyon periyodu, T_0 (2 s ve 4 s), karakteristik kuvvetin yapı toplam ağırlığına oranı, Q/W (%5) ve ilave sönüm oranı, ζ (%10, %20 ve %30 olarak seçildiği durumlar dikkate alınmıştır) parametreleri incelenmiştir. İlave sönümleyici kullanılan durum, üstyapı parametrelerinden h/R 'nin yalnızca 0.001 değerini aldığı durum için irdelenmiştir. Dolayısıyla, sunulan tez kapsamında, farklı kombinasyonları taban izolasyonlu sıvı depolama tankının dinamik davranışını farklı şekilde etkileyebilecek, sıvı yüksekliğinin tank yarıçapına oranı (H/R), tank kalınlığının tank yarıçapına oranı (h/R), izolasyon periyodu (T_0), karakteristik kuvvetin yapı toplam ağırlığına oranı (Q/W) ve ilave sönüm oranı (ζ) gibi önemli yapısal parametreler dikkate alınmıştır. Bu şekilde, farklı üstyapı geometrisine ve farklı izolasyon sistemi karakteristik özelliklerine ait parametrelerin değişiminin sismik davranışı nasıl etkilediği ortaya konulmuştur.

Ayrıca, mevcut literatüre bir katkı olarak taban izolasyonlu sıvı depolama tanklarının yakın fay depremleri altındaki davranışlarının uzak fay depremleri altındaki davranışları ile karşılaştırmalı olarak incelenmesi, bu tür tankların deprem güvenliğinin tam olarak ortaya konulabilmesi açısından önemli ve gerekli görüldüğünden çalışmaya dahil edilmiştir. Yakın fay depremi ileri doğrultu etkisinin faya olan uzaklık (r) ve deprem büyüklüğüne (M_w) bağlı olarak değişmesi sebebiyle önceki çalışmalardan farklı ve özgün olarak bu tezde taban izolasyonlu tankların dinamik davranışlarının bu yakın fay yer hareketi parametrelerine olan duyarlılığı ele alınmıştır. Bu amaçla, bu tezin bir kısmında da yapıldığı gibi, farklı fay uzaklıklarında kaydedilmiş farklı büyüklüklerdeki tarihi deprem kayıtları kullanılabilir. Ancak, ileri doğrultu etkisi bulunan tarihi yakın fay deprem kayıtları sayıca azdır ve “fay uzaklığı/deprem büyüklüğü” parametreleri sistematik olarak değişmemektedir. Dolayısıyla, tarihi yakın fay deprem kayıtlarının yanı sıra, istenilen fay mesafesi ve deprem büyüklüğüne haiz sentetik

deprem kayıtları üretmek ve bu kayıtları kullanmak suretiyle çok kapsamlı parametrik bir inceleme yapılmıştır.

Yapılan incelemeler sırasında, zemin-yapı etkileşimi, yer hareketi düşey bileşen etkisi ve topografik etkiler dikkate alınmamıştır. Tanklar tam dolu ($H \cong L$) olarak kabul edilmiş ve farklı doluluk durumları tez kapsamında incelenmemiştir. Ayrıca, suyun tank seviyesini geçerek kapak içerisinde hareket etmek suretiyle tekrar tanka kavuşması döngüsünün etkisi ihmal edilmiştir. İzolasyon sisteminin tamamen simetrik olduğu kabul edilmiş, yani dış merkezlilik dikkate alınmamıştır. Zaman tanım alanı analizlerinde ise uyarımlar tek yönlü olarak dikkate alınmıştır.

Çalışmada ilk olarak, farklı üstyapı geometrisine ve farklı izolasyon sistemi karakteristik özelliklerine ait parametrelerin çapraz eşleştirilmeleri suretiyle oluşturulan 84 adet ilave sönümleyici kullanılmayan ve 42 adet ilave sönümleyici kullanılan taban izolasyonlu sıvı depolama tankı modellerinin özellikleri tanıtılmıştır. Daha sonra, bu modellerin dinamik davranışlarını incelemek için 6 adet tarihi yakın fay deprem kaydı, 6 adet tarihi uzak fay deprem kaydı ve 12 adet sentetik olarak üretilen yakın fay deprem kaydı altında 3D-BASIS-ME (Tsopelas ve diğ., 1994) akademik yazılımını kullanarak doğrusal olmayan deprem analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda, pik taban deplasmanı, pik çalkantı deplasmanı, pik izolasyon sistemi kesme kuvveti, pik sıvı-tank kesme kuvveti ve pik çalkantı kaynaklı kesme kuvveti yapısal yanıtları elde edilmiştir. Son kısımda ise bulgular grafikler yardımıyla ortaya konulmuş ve ulaşılan sonuçlar sunulmuştur.

Bu tezden çıkan sonuçların, özellikle fay hattına yakın bölgelerde inşa edilecek taban izolasyonlu sıvı depolama tanklarının güvenli tasarımları için gerekli bilgi birikiminin oluşmasına ve ilgili standartların geliştirilmesine katkı sağlaması beklenmektedir.

2. GENEL KISIMLAR

Bu bölümde, sıvı depolama tankları, taban izolasyon sistemleri ve bu sistemlerin sıvı depolama tanklarına uygulanması, ilave sönümleyiciler ve bu sönümleyicilerin taban izolasyonlu sıvı depolama tanklarının izolasyon sistemine eklenmesi konularındaki genel bilgiler ve literatürde bulunan örnek çalışmalar sunulmuştur. Ayrıca, taban izolasyonlu sıvı depolama tanklarının nümerik olarak modellenmesine olanak sağlayan 3D-BASIS-ME (Tsopelas ve diğ., 1994) programının işleyişi hakkında da bilgiler verilmiştir.

2.1. SIVI DEPOLAMA TANKLARI

Sıvı depolama tankları, içerisinde barındırdıkları önemli maddeler nedeniyle hayati, stratejik ve ekonomik yönlerden büyük öneme sahip yapısal sistemlerdir (Malhotra ve diğ., 2000; Shrimali ve Jangid, 2004; Jaiswal ve diğ., 2007a; Jaiswal ve diğ., 2007b; Ghaemmaghani ve Kianoush, 2010; Güler ve diğ., 2017a). Betonarme, çelik veya ön gerilmeli zemin destekli ve şaft veya çerçeve tipi kule üzerine mesnetli ayaklı olmak üzere çeşitli konfigürasyonları bulunan bu tankların sismik davranışları, depreme dayanıklı tasarımları için sıvı-yapı etkileşimini dikkate alan zorlu bir tasarım yöntemi gerektirdiğinden dolayı oldukça karmaşıktır (Shrimali ve Jangid, 2002; Shrimali ve Jangid, 2004; Jaiswal ve diğ., 2007a). Bu yapılar, sıvı içerikleri nedeniyle içsel hidrodinamik basınç ve (depolanan sıvı ile çatı yüklerinden kaynaklanan) sürtünme kuvveti ile yatay yükler nedeniyle de eksenel basınç gerilmelerine maruz kalırlar (Rotter, 2006). Dolayısıyla, sıvı depolama tanklarının dinamik davranışları, özellikle duvarlarına gelen hidrodinamik basınç nedeniyle diğer yapısal sistemlerden farklıdır (Kim ve diğ., 2002). Bu hidrodinamik içsel basınçlar zemine bağlı sistemlerde, büyük taban devrilme momentlerine ve aynı zamanda bağlantı civatası etrafında yüksek miktarda gerilme birikmesine yol açabileceğinden özellikle zayıf bir şekilde oluşturulmuş bağlantılarda hasarlara yol açabilmektedirler (Malhotra, 1997).

Söz konusu sistemlerin sismik analizi, tank-sıvı sistemini eşdeğer yay-kütle sistemine çevirerek hidrodinamik kuvvetlerin hesaplanmasını kolaylaştıran mekanik modeller (Jaiswal ve diğ., 2007a) kullanılarak gerçekleştirilebilmektedir. Bu mekanik modeller ilk olarak rijit duvarlara sahip tanklar için geliştirilmiştir (Jaiswal ve diğ., 2007a). Bu çalışmalara örnek vermek gerekirse; Housner (1963) silindirik ve dikdörtgen şekilli serbest su yüzeyi olan rijit tanklar için tankın zemine göre hareketinin yanı sıra suyun tanka göre hareketini de dikkate alan bir

mekanik model önermiştir. Benzer şekilde Newmark ve Rosenblueth (1971) rijit sıvı depolama tanklarını toplu kütleli olarak modelledikleri bir çalışma ortaya koyarak bu tankların sismik yanıtlarını değerlendirmişlerdir. Veletsos ve Yang (1977) ise çalışmalarında dairesel rijit tanklar için benzer türde bir başka mekanik modele ulaşmak amacıyla farklı bir yaklaşım kullanmışlardır. Yine bu kapsamda Wozniak ve Mitchell (1978) kaynaklarla bağlanmış rijit çelik yağ depolama tankları için sismik tasarım hükümlerinin temelini sadeleştirdikleri Housner'in yaklaşık modeline dayandırmışlardır. Ancak, söz konusu rijit tanklar büyük ölçekli tarihi depremlerde ciddi hasarlar almışlardır (Kim ve diğ., 2002). Bu hasarları raporlayan çalışmalarına örnek olarak, büyük depremlerde yağ rafinelelerinin hasarlarını inceleyen Nielsen ve Kiremidjian (1986)'ın çalışması ile 1999 Türkiye depreminden etkilenen endüstriyel tesislerin sismik performansını değerlendiren Sezen ve Whittaker (2006) tarafından yapılan araştırma verilebilir. Bu nedenle, sonraki araştırmalarda rijit tank konsepti yerine esnek duvarlı tanklar ile ilgili çalışmalar yapılmaya başlanmıştır (Kim ve diğ., 2002). Bu kapsamda Haroun ve Housner (1981) sıvı depolama tanklarının sismik tasarımı için tank duvarlarının deformasyonunu ve tank içerisindeki sıvının çalkalanmasını dikkate alan matematiksel bir model kurmuş ve nümerik örnekler sunmuşlardır. Tedesco ve Kostem (1982) ise, silindirik depolama tanklarının boş ve sıvı ile dolu olmaları durumlarında titreşimsel karakteristiklerini ve sismik analizlerini dört ayrı fazda incelemişlerdir. Böylece, silindirik tankların titreşimsel karakteristikleri üzerinde sınır koşullarının ve çatı yapılarının etkilerini değerlendirmiş, esnek silindirik depolama tanklarının titreşimsel karakteristiklerini ve sismik yanıtlarını doğru bir şekilde değerlendirmek için basit analitik ifadeler geliştirmişlerdir. Benzer şekilde Veletsos (1984)'da çalışmasında esnek tanklar için mekanik model önerisinde bulunurken, Malhotra ve diğ. (2000), Veletsos (1984) tarafından sunulan esnek tank modelini daha da basitleştirerek zemine oturan silindirik sıvı depolama tanklarının sismik olarak analiz edilebilmeleri için basitleştirilmiş bir sismik tasarım yönteminin teorik altyapısını sunmuşlardır. Temele ankastre olarak bağlı esnek çelik veya beton tanklar için sıvının impulsif ve çalkantı hareketlerini dikkate alan ve Malhotra ve diğ. (2000) tarafından sunulan bu basitleştirilmiş yöntem Eurocode 8 (1998) tarafından da kabul edilmiştir. Çeşitli yönetmelikler (IBC, 2006; ASCE 7, 2005; Eurocode 8, 1998; NZSEE, 1986; ACI 350.3, 2001; ACI 371, 1998; AWWA D-100, 2005; AWWA D-110, 1995; AWWA D-115, 1995; API 650, 2005), bahsi geçen rijit ve/veya esnek mekanik tank modellerini kullanmaktadır (Jaiswal ve diğ., 2007b).

Sıvı depolama tanklarının farklı bakış açılarıyla incelendiği çalışmalar günümüzde de devam etmektedir. Örneğin, El Damatty ve Sweedan (2006) yatay yer hareketlerine maruz kalan sıvı ile dolu ve tepesi kesik koni şeklindeki tankların dinamik davranışlarını tahmin edebilmek için eşdeğer mekanik bir analog geliştirmişlerdir. Tank duvarlarının esnekliğini dikkate almanın yanı sıra hidrodinamik basıncın impulsif ve çalkantı bileşenlerini de simüle eden bu analoga ait mekanik parametrelerini, duvarların eğim açısını da içeren konik tankların geometrik fonksiyonu olarak grafiklerle sunmuşlardır. Literatürde sunulan silindirik tanklar ile eğim açısı sıfıra yakın olan konik tanklar için elde edilen değerleri karşılaştırarak mükemmel uyum sağladıklarını göstermişlerdir. Jaiswal ve diğ. (2007b) ise sıvı depolama tankları ile ilgili on adet sismik kodu incelemiş ve kodlar arasında çeşitli tank türleri için sismik kuvvetlerin tasarlanması açısından önemli farklılıklar olduğunu görmüşlerdir. Bu farklılıkların nedenlerini inceleyerek birleştirilmiş bir yaklaşım sunabilmek için gereklilikleri vurgulamışlardır. Christovasilis ve Whittaker (2008) ise Malhotra ve diğ. (2000) tarafından sunulan mekanik analogu kullanarak geleneksel ve izole edilmiş sıvılaştırılmış doğal gaz tanklarının sismik analizini değerlendirmişlerdir. Bu sonuçları, sismik izolasyonun etkinliğini ve ön tasarım için analogun yararlı olduğunu göstermek için ANSYS (2005) sonlu eleman kodu ile de doğrulamışlardır. Ghaemmaghani ve Kianoush (2010) çalışmalarında sonlu elemanlar metodu kullanarak dikdörtgen biçimindeki beton sıvı depolama tanklarının dinamik yanıtlarını incelemişler ve bu yanıtların üzerinde duvar esnekliğinin etkilerini değerlendirmişlerdir. Duvar esnekliği ve sıvı sönüm özelliklerinin sıvı tanklarının sismik davranışları üzerinde büyük etkiye sahip olduğunu ve tank tasarımı sırasında dikkate alınmasının önemli olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, tankların dinamik yanıtları üzerinde düşey ivmenin etkisinin yatay ve düşey yer hareketlerinin birlikte değerlendirildiği duruma göre daha az önemli olduğunu da göstermişlerdir. Said ve AbdulMajeed (2011) ise çalışmalarında dikdörtgen biçimindeki sıvı depolama tanklarını zeminin üst seviyesine ve zemine gömülü olacak şekilde yerleştirerek, tank yüksekliğinin genişliğine oranı, tank içindeki su seviyesi, duvar kalınlığı ve zemin türü parametrelerine bağlı olarak modal ve zaman tanım alanı analizleri aracılığı ile değerlendirmişlerdir. Zeminin üzerine yerleştirdikleri tankların tam dolu olması durumunda yarı dolu ve boş olma durumlarından daha büyük yanıtlar elde ederken, zemine gömülü tanklar için tankın boş olması durumunda yarı dolu ve tam dolu olma durumlarından daha büyük yanıtlar elde etmişlerdir. Taban kesme kuvveti açısından zemin üzerine yerleştirilen tank modelinin, zemine gömülü modelden daha büyük değerler aldığını ve bu yanıtlar üzerinde tankı

çevreleyen zemin türünün önemli etkileri olduğunu belirtmişlerdir. Maekawa (2012) silindirik sıvı depolama tanklarının sismik yanıt analizlerindeki ilerlemeleri sunabilmek adına mevcut çalışmaları inceleyerek sismik hasar modlarını sunmuş ve silindirik sıvı depolama tanklarının titreşim davranışlarını sınıflandırmıştır. Önerdiği dinamik analiz metodunun sismik yanıtlarını deneysel sonuçlarla doğrulamıştır. Yazıcı ve diğ. (2014) ise yatay doğrultuda yakın fay yer hareketine maruz kalan silindirik sıvı depolama tanklarının çalkantı deplasmanı yanıtlarını değerlendirebilmek için ANSYS Fluent (2011) programı vasıtasıyla analizler yapmış ve bu analiz sonuçlarını yaygın olarak kullanılan kütle-yay eşdeğer modellerinden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırmışlardır. Mekanik analog modellerinin serbest yüzey deplasmanlarını ve tank duvarı üzerinde oluşan hidrodinamik basıncı tahmin etmede başarılı olduğunu ancak mekanik analog modellerinde yapılan dönmeye izin verilmeyen akış ve küçük genlikli çalkantı deplasmanları olması gibi varsayımlar nedeniyle sonuçlarda az miktarda farklılıkların olabildiğini belirtmişlerdir. Ormeno ve diğ. (2015) sıvı depolama tanklarının doğrusal zaman tanım alanı analizleri sırasında uluslararası nitelikteki Eurocode 8 (2006), ASCE/SEI 7-10 (2010) ve NZS 1170.5 (2004) tasarım yönetmelikleri tarafından sunulan sismik yer hareketlerini ölçeklendirme yöntemlerini değerlendirmiş ve taban kesmesi, devrilme momenti ile duvar gerilmesi tank yanıtları üzerinden bu ölçeklendirme prosedürlerinin farklı sonuçlarını incelemişlerdir. Çalışmalarının sonucunda, Eurocode 8 (2006) yaklaşımının sıvı tankları üzerinde en yüksek sismik yanıtı ürettiklerini, ASCE/SEI 7-10 (2010)'un ise diğer iki yönetmelik ile karşılaştırıldığında uygulanan yükler ve sismik yanıtlar açısından orta seviyede sonuçlar verdiğini göstermişlerdir. NZS 1170.5 (2004) ile dayatılan sınırlamaların ise depolama tankları üzerinde sismik yükün azımsanmasına neden olduğunu belirtmişlerdir. Phan ve Paolacci (2016) zemin üzerine ankastre bağlanmış çelik sıvı depolama tanklarının olasılıksal sismik yanıt analizleri için seçilen birkaç yoğunluk ölçütünün (IM) etkinliği ve yeterliliğini incelemişlerdir. Her bir alternatif yoğunluk ölçütünü, mühendislik talep parametreleri ve yoğunluk ölçütleri arasında yapılan lineer bir regresyon analizi ve yapısal yanıt için zaman tanım alanı analizlerinin sonuçları ile niceliksel olarak belirtmişler ve talep parametrelerine göre en çok etkili ve yeterli yoğunluk ölçütlerini önermişlerdir. Fiore ve diğ. (2018) ise çalışmalarında küresel sıvı depolama tanklarının sismik performansını bütün içerdikleri durum için örnek bir durum çalışması üzerinden değerlendirmişlerdir. Bu kapsamda detaylı sonlu eleman analiz metodunun yanı sıra basitleştirilmiş tek serbestlik dereceli bir idealizasyon da gerçekleştirilerek sonlu elemanlardan elde edilen sonuçları doğrulamışlardır. Çalışmalarında

çalkantı etkisi ve zemin-yapı etkileşimini dikkate almanın önemli etkileri olduğunu göstermişlerdir.

2.2. TABAN İZOLASYON SİSTEMLERİ VE BU SİSTEMLERİN SIVI DEPOLAMA TANKLARINA UYGULANMASI

Yatay doğrultuda esneklik sağlayan taban izolatörleri kullanılarak yapısal sistemin hakim periyodunun uzatılması ve böylece hem yapısal bütünlüğün hem de yapının içindekilerin eş zamanlı olarak depremlerin zararlı etkilerinden korunması konseptine dayanan taban izolasyon sistemleri, özellikle son yirmi yılda başarılı bir depreme dayanıklı tasarım metodu olarak dünya çapında kabul görmüştür (Kelly, 1996; Komodromos, 2000; Kelly, 2001a; Alhan ve Sürmeli, 2011; Warn ve Ryan, 2012; Martelli ve diğ., 2014; Alhan ve diğ., 2018). Temel olarak, düşük sönümlü kauçuk mesnetler, yüksek sönümlü kauçuk mesnetler ve kurşun çekirdekli kauçuk mesnetler gibi türleri olan kauçuk esaslı elastomer mesnetler ile düzlemsel kayıcı mesnetler ve eğimli yüzeyli kayıcı (sürtünmeli sarkaç) mesnetler gibi türleri olan kayıcı yüzeyli sistemlerden oluşan taban izolasyon sistemleri birbirinden farklı özelliklere ve kullanım alanlarına sahiptirler. Bu sistemlerden doğal kauçuk kullanılarak yapılan düşük sönümlü kauçuk mesnetler genellikle %2 - %3 aralığında kritik viskoz sönüme sahip olduklarından dolayı sistemin sönümünü arttırmak amacıyla enerji sönümleyici diğer sistemlerle birlikte kullanılırlar. Öte yandan kauçuk bileşeni yani moleküllerinin çapraz bağlantı yoğunlukları değiştirilerek karbon ve reçine gibi özel dolgular kullanılarak sönüm miktarı oldukça arttırılan yüksek sönümlü kauçuk mesnetlerin kritik sönüm değerleri genellikle %8 - %15 aralığında olmaktadır. Bu tür mesnetler için düşük gerilme seviyelerinde efektif sönüm %15 seviyelerindeyken, %100'ün üzerine çıkan gerilme seviyeleri için %8 - %12 aralığına düşerek deplasmana bağlı olan sönümü histeretik bir eğri ile temsil ederler. Elastomerik mesnetlerde boşluklar açılarak ve bu boşluklara kuvvet uygulamak suretiyle kurşun dübeller takılarak oluşturulan kurşun çekirdekli kauçuk mesnetlerde ise yüksek sönümlü kauçuk mesnetlere benzer şekilde deplasmanın fonksiyonu olan histeresis eğriler üretilir. Bu mesnetlerde kurşun çekirdek sayesinde küçük yatay yüklerin etkisi altında rijit davranış sağlanırken yüklerin artmasıyla birlikte oluşan büyük deplasmanlar kurşunu plastik deformasyona uğratar ve enerjiyi sönümler. Böylece akma sonrası yatay rijitlik önemli miktarda azalır. Eşdeğer viskoz sönümü genellikle %15 - %35 aralığında değişen bu mesnetler, yüksek seviyede sönüm gerektiren yerlerde veya köprüler gibi servis yükleri altında rijitliğin önemli olduğu yapılarda kullanılırlar.

Kritik sönümün $2/\pi$ 'si kadar eşdeğer viskoz sönüm sağlayan düzlemsel kayıcı mesnetler ise, deplasmanlarını sınırlandıracak herhangi bir geri çağırım kuvvetine sahip olmamaları ve kaymayı başlatmak için gereken kuvvetin kaymayı sürdürmek için gerekenden daha büyük olması gibi nedenlerden dolayı izolasyon sistemlerinde tek olarak kullanılamazlar. Ayrıca, kuvvetli yer hareketleri altında üstyapıya iletilen kesme kuvveti depremin büyüklüğünden çok sürtünme katsayısına bağlı olduğundan bu tür mesnetlerde yaklaşık %3 gibi düşük bir statik sürtünme katsayısına sahip olan paslanmaz çelik ve teflon gibi kayıcı yüzeyler tercih edilir. Servis yükleri altında küresel kayma yüzeyine sahip olmaları ve mafsallı kayıcı hareketlerinden dolayı yatay hareketin düşey hareketle birlikte sağlandığı eğri yüzeyli kayıcı mesnetler yani sürtünmeli sarkaç mesnetler ise düzlemsel kayıcı mesnetlerin aksine şekilsel özellikleri itibarıyla geri çağırım kuvveti sağlarlar. Bu sistemlerin de tek, çift ve üç eğri yüzeyden oluşan farklı özelliklere sahip çeşitleri bulunmaktadır. Yukarıda, mesnet türlerinin çeşitli özellikleri ile ilgili olarak sunulan özet bilgi, Komodromos (2000), Zhang (2000), Kelly (2001a), Warn ve Ryan (2012) ve Zelleke ve diğ. (2015)'nin çalışmalarından elde edilmiştir.

Literatürde, yukarıda özellikleri anlatılan taban izolasyon sistemlerinin bina türü yapılara uygulanması durumunda çeşitli yönlerden deprem davranışlarının incelendiği birçok araştırma çalışması bulunsa da (Örneğin, Spyarakos ve diğ., 2009; Alhan ve Sürmeli, 2011; Mollaioli ve diğ., 2013; Mavronicola ve Komodromos, 2014; Castaldo ve diğ., 2015; Alhan ve diğ., 2016a; Mazza, 2017) bu konuları taban izolasyonlu sıvı depolama tanklarının deprem davranışları açısından değerlendirmek de önemlidir (Alhan ve diğ., 2018). 1960 Şili Depremi, 1964 Alaska Depremi, 1982 Livemore - California Depremi, 1977 San Juan Depremi gibi çok sayıda büyük ölçekli depremlerde mevcut sıvı depolama tanklarında meydana gelen hasarlar (Shrimali ve Jangid, 2002) ve 1999 Chi-Chi depreminde endüstriyel tanklarda meydana gelen ciddi hasarlar ve ekonomik kayıplar (Wang ve diğ., 2001) araştırmacıları söz konusu tankların sismik performansını arttırmak amacıyla tankın maruz kaldığı sismik kuvvetleri indirgeme prensibi üzerine kurulmuş olan taban izolasyonu (Kim ve Lee, 1995) tekniğine yönlendirmiştir. Taban izolasyonlu sıvı depolama tanklarının deprem davranışlarının kapsamlı bir şekilde anlaşılması, endüstriyel alanlardaki önemli rolleri nedeniyle hem hayati hem de stratejik açıdan önemli olduğundan bu alandaki çalışmalar araştırmacıların yoğun bir şekilde ilgisini çekmektedir (Alhan ve diğ., 2016b; Alhan ve diğ., 2018). Bu bağlamda örneğin, Waghmare ve diğ. (2013) kule ile yükseltilmiş sıvı depolama tankında kulenin altına elastomerik mesnetler yerleştirilmesi durumunda gerçek yer hareketleri için elde edilen sismik performansı izole edilmemiş hali için

elde edilen yanıtlarla karşılaştırmışlar ve yapılan izolasyonun sismik yanıtları azaltmada oldukça etkili olduğunu göstermişlerdir. Panchal ve Soni (2014) ise izole edilmiş sıvı depolama tanklarının sismik uyarımlar altındaki davranışları ile ilgili günümüz araştırmalarına ve mühendislik uygulamalarına destek sağlamak amacıyla literatürdeki mevcut çalışmaları değerlendirmişlerdir. Çoğu çalışmada sıvı depolama tanklarını izole etmenin impulsif yanıt bileşenini etkili bir şekilde azaltırken konvektif bileşende az miktarda artışa sebep olduğunun gösterildiğini ve çalışmaların bazı konularda hala yetersiz kaldığını belirtmişlerdir. Çalışmasında 1999 Kocaeli depremi sırasında Habas ilaç tesisinde çöken yükseltilmiş üçlü tank grubunun modelini dikkate alan Paolacci (2015), bu modeli EN1998 (2006)'e göre yüksek sönümlü kauçuk mesnetler ve sürtünmeli sarkaç sistemlerden oluşan iki ayrı izolasyon sistemi ile izole etmiştir. Her iki izolasyon sisteminin de tank yanıtlarını azaltmada yüksek etkinliğe sahip olduğunu ancak düşey çalkantı deplasmanı açısından sürtünmeli sarkaç mesnetler kullanmanın yüksek sönümlü kauçuk mesnetlere göre bir miktar daha avantajlı olabileceğini göstermiştir. Saha ve diğ. (2016) taban izolasyonlu sıvı depolama tanklarının pik sismik yanıtlarını, kurşun çekirdekli izolatörlerin mekanik parametrelerindeki belirsizliği ele alabilmek için yanıt yüzey modeli (Response Surface Method - RSM) ile modellemiş ve bu belirsizliklerin sıvı depolama tanklarının tepki parametreleri üzerindeki etkisini kırılganlık eğrileri kullanılarak değerlendirmişlerdir. İzolatör parametrelerindeki belirsizliklerin, taban izolasyonlu sıvı depolama tanklarının pik yanıt miktarlarını önemli miktarda etkilediğini ve izolasyon periyodundaki artışın taban izolasyonlu sıvı depolama tankları için hata olasılığını azalttığını görmüşlerdir. Güler ve diğ. (2017a) lineer izolasyon sistemleri ile donatılmış sıvı depolama tanklarının efektif rijitlik ve sönümden oluşan mekanik parametrelerini inceleyerek nominal değerlerinden sapmalarının sismik performansa olan etkisini araştırırken, Güler ve diğ. (2017b) ise doğrusal olmayan izolasyon sistemli sıvı depolama tanklarının akma kuvveti ve akma öncesi rijitliğin akma sonrası rijitliğe oranından oluşan mekanik parametreleri üzerinden sapmaların sismik performansa olan etkilerini incelemişlerdir. Hashemi ve Aghashiri (2017) eşdeğer mekanik bir model kullanarak taban izolasyonlu esnek dikdörtgen şekilli sıvı konteynerlerin sismik analizini gerçekleştirmişlerdir. Dikdörtgen sıvı konteynerlerinin taban kesmesi, duvar deformasyonu ve hidrodinamik basıncının taban izolasyonu ile etkili bir şekilde azaltılabileceği ancak tankın içindeki sıvının serbest yüzey çalkantı yüksekliğinin artabileceği sonucuna varmışlardır. Compagnoni ve diğ. (2018) ise yaptıkları deneysel çalışmada, kayıcı konkav mesnetli sıvı depolama tanklarının sismik yanıtlarını taban ankastre olanları ile birlikte

incelemişler ve kayıcı konkav mesnetlerin çalkantı deplasmanlarını etkilemeden taban kesmelerini azalttığını göstermişlerdir.

Öte yandan, taban izolasyon sistemlerinin yapısal sistemlere uygulanmaları durumunda, yapıları yüksek frekans içerikli uzak fay depremlerinin zararlı etkilerinden başarılı bir şekilde korudukları, ancak uzun periyotlu büyük hız ve/veya deplasman pulsarı içeren yakın fay depremleri söz konusu olduğunda yapısal yanıt parametrelerini arttırabildikleri bilinmektedir (Makris, 1997). Dolayısıyla, yakın fay depremlerinin etkisi altında oluşabilecek potansiyel büyük izolasyon sistemi deplasmanlarının izolatörlerde yırtılma ve/veya burkulma problemlerine yol açarak tüm yapısal sistemin bütünlüğünü ve güvenliğini tehdit edebilmesi olasıdır (Öncü-Davas ve diğ., 2018). Taban izolasyon sistemlerinin güvenliğini tehdit edebilecek yakın fay depremleri ile ilgili bu potansiyel problem ilk olarak yoğun bir şekilde kentselleşmiş bir alanın yakınında meydana gelen Northridge depreminden sonra Hall ve diğ. (1995) ve Heaton ve diğ. (1995) tarafından bina türü yapılar için ele alınmıştır. Çalışmalarında yakın fay yer pulsalarına karşı hassas olan esnek yapıların (20 katlı çelik çerçeve bir bina ve üç katlı taban izolasyonlu bir bina) sismik performanslarını simüle edilmiş 7.0 büyüklüğündeki deprem altında araştırmış ve yakın fay depremlerinin potansiyel yıkıcı etkilerini dikkate alarak geliştirilen tasarım yönetmeliklerinin gerekli olabileceğini vurgulamışlardır. Dolayısıyla literatürde yakın fay depremleri altında taban izolasyonlu binaların davranışlarını farklı yönlerden ele alarak inceleyen birçok çalışma bulunmaktadır (Örneğin, Mazza ve Vulcano, 2012; Jensen ve Kusanovic, 2014; Tajammolian ve diğ., 2014; Alhan ve diğ., 2016a; Alhan ve Öncü-Davas, 2016; Mazza ve Labernarda, 2017; Saifullah ve Alhan, 2017; Mazza ve diğ., 2018). Ancak, bina türü yapılardan daha karmaşık bir dinamik davranışa sahip olan sıvı depolama tankları söz konusu olduğunda tankın kendi dinamik yanıtı, tank-sıvı etkileşimi ve sıvı içeriğin çalkantısından oluşan farklı modların etkileşimi önem kazanır (Öncü-Davas ve diğ., 2018). Taban izolasyonlu olarak tasarlanmaları halinde yaklaşık olarak 2 s ~ 4 s aralığında izolasyon periyotlarına sahip olan sıvı depolama tankları genellikle yüksek frekans içeriğine sahip tipik uzak fay depremlerine karşı korunabilmektedirler. İleri doğrultu etkisi olarak da bilinen büyük genlikli ve uzun periyotlu hız pulsaları içeren yakın fay depremleri (Makris, 1997) söz konusu olduğunda ise deprem puls periyotlarının hem taban izolasyonlu sıvı depolama tanklarının izolasyon periyotları ile (Hall, 1998; Somerville ve Graves, 2003; Alhan ve diğ., 2016b) hem de sıvı depolama tanklarının dinamik davranışının önemli bir parçası olan çalkantı titreşimlerinin periyotları ile çakışabilmesi olasıdır. Çok büyük izolasyon sistemi deplasmanları

ve/veya çok büyük çalkantı deplasmanları oluşturabilecek olan bu durumlarda tank güvenliğini doğrudan tehdit eden problemler ortaya çıkabilir. Bu nedenle, özellikle son yıllarda yakın fay yer hareketleri altında taban izolasyonlu sıvı depolama tanklarının dinamik davranışını incelemek pek çok araştırmacıya daha çekici gelmektedir. Bu dinamik davranışların farklı yönlerden ele alınarak araştırıldığı pek çok çalışma mevcuttur. Örneğin, Panchal ve Jangid (2008) yakın fay yer hareketleri etkisinde değişken sürtünmeli sarkaç sistemleri üzerine mesnetlenmiş ince ve geniş sıvı depolama tanklarının dinamik davranışlarını incelemişlerdir. Tank yüksekliğinin yarıçapına oranı, izolasyon periyodu ve başlangıç zaman periyodu parametrelerine bağlı olarak ivmenin küçük zaman aralıklarında doğrusal değiştiğini varsaymış ve Newmark metodu ile yapılan analizlerden elde edilen yanıtları değerlendirmişlerdir. Sistemin etkinliğini kanıtlamak için ise değişken sürtünmeli sarkaç sistemleri, klasik sürtünmeli sarkaç sistemlerle karşılaştırmışlardır. Shekari ve diğ. (2010) ise tank geometrisinin ve izolasyon sistemi esnekliğinin tüm sistem davranışı üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla tank yapısı için sonlu kabuk eleman ve sıvı bölge için sınır eleman yöntemlerini birleştirerek elde ettikleri denklem ile taban izolasyon sisteminin denklemini birleştirmiş ve tüm sistem davranışını temsil eden denklemi bulmuşlardır. Bu denklemi, uzun periyotlu tarihi deprem kayıtları için adım adım iteratif bir yöntemle çözerek, dinamik yanıtları elde etmişlerdir. Saha ve diğ. (2012) kurşun çekirdekli kauçuk mesnetler ile izole edilmiş sıvı depolama tanklarını tarihi yakın fay deprem kayıtları ve bu kayıtların Makris ve Chang (2000) modeli kullanılarak üretilmiş ivme pulsu açısından eşdeğeri olan sentetik deprem kayıtlarına maruz bırakarak karşılaştırmalı bir şekilde incelemişlerdir. Yakın fay deprem kayıtlarının etkisi altında taban izolasyonlu sıvı depolama tanklarının pik yanıtlarını modellemede eşdeğer ivme pulslarının oldukça iyi olduklarını ancak zaman tanım alanındaki yanıtları yakalamada özellikle kalın tank modelleri için yeteri kadar iyi olamadıklarını görmüşlerdir. Fallahian ve diğ. (2013) ise biri 1999 Düzce deprem kaydı olmak üzere seçtikleri yedi yakın fay deprem kaydının etkisi altında çift konkav sürtünmeli sarkaç sistemler üzerine mesnetlenmiş tankların sismik davranışlarını incelemişlerdir. Tank inceliği, izolasyon sisteminin efektif periyodu ve sürtünme katsayısı parametrelerini dikkate aldıkları çalışmalarında sıvıyı modelleyebilmek için Haroun ve Housner (1981)'in modelini kullanmışlar, analizler için ise bir MATLAB (2019) kodu geliştirerek doğruluğunu SAP2000 (2019) yazılımı ile kanıtlamışlardır. Bagheri ve Farajian (2016) yakın fay yer hareketleri altında sürtünmeli sarkaç sistem ile izole ettikleri sıvı depolama tanklarının sismik yanıtlarını incelemişlerdir. Doğrusal olmayan analizler sonucunda

sürtünmeli sarkaç sistemlerin silindirik sıvı depolama tanklarının yakın fay deprem kayıtları altındaki sismik yanıtlarını ankastre tabanlı olanlarına göre önemli ölçüde azalttığını göstermişlerdir. Kalogerakou ve diğ. (2017) sıvı içeren rijit silindirik tankların hidrodinamik yanıtlarını yakın fay olgusunu vurgulayarak incelemişlerdir. Çalışmalarında zamanın fonksiyonu olarak belirtilen yanıt parametrelerini elde edebilmek için temel hidrodinamik eşitlikleri ve analitik çözümleri özetlemişler, Housner tarafından sunulan konsepti takip ederek yanıtların tek bir impulsif mod ve bir dizi konvektif modun birleşiminden oluştuğunu belirtmişlerdir. İkinci konvektif modun etkisinin oldukça önemli olduğunu ve yakın fay etkisinin bir sonucu olarak, ikinci konvektif modun ihmal edilmesinin çalkalanan dalganın maksimum yüksekliğinin önemli miktarda daha küçük olarak tahmin edilmesine yol açabileceğini göstermişlerdir. Öncü-Davas ve diğ. (2018) ise çalışmalarında Makris (1997) A-Tipi ve B-Tipi ile Agrawal ve He (2002) puls modellerini kullanarak tarihi yakın fay deprem kayıtlarının eşdeğer yer hareketlerini oluşturmuş ve taban izolasyonlu sıvı depolama tanklarını bu kayıtlara maruz bırakmışlardır. Tarihi deprem kayıtları ile sentetik olarak üretilen bu eşdeğer kayıtlar için elde edilen yapısal yanıtları karşılaştırarak, puls modellerinin puls içeren tarihi yakın fay deprem kayıtlarını temsil etmede oldukça başarılı olduklarını göstermişlerdir.

2.3. İLAVE SÖNÜMLEYİCİLER VE BU SÖNÜMLEYİCİLERİN TABAN İZOLASYONLU SIVI DEPOLAMA TANKLARININ İZOLASYON SİSTEMİNE EKLENMESİ

Pasif enerji sönmüleyici sistemler genel olarak metalik akan sönmüleyiciler, sürtünmeli sönmüleyiciler, visko-elastik sönmüleyiciler, viskoz sıvı sönmüleyiciler, viskoz duvarlar ve ayarlı kütle sönmüleyiciler gibi türleri olan mekanik cihazlardır (Reinhorn ve diğ., 1995; Zhang, 2000; Kelly, 2001b; Soong ve Spencer, 2002; Zelleke ve diğ., 2015). Bunlardan metalik akan sönmüleyiciler, genellikle eğilmede, kesmede veya eksenel olarak sünebilen çelik veya kesmede akabilen kurşunlardan oluşurlar (Kelly, 2001b). Depremler sonucunda yapıya gelen enerji girişinin metallerin elastik olmayan deformasyonları sayesinde sönmülendiği bu mekanizmalar (Soong ve Spencer, 2002) kararlı histeretik davranışları, düşük çevrimli yorulma özellikleri, uzun dönem güvenilirlikleri ve çevresel sıcaklığa nispeten duyarsız olmaları gibi özellikleri nedeniyle tercih edilmektedirler (Soong ve Spencer, 2002). Ayrıca, akmanın malzeme boyunca neredeyse eşit oranda yayılmasını sağlamak için genellikle üçgen ya da X şeklinde hafif çelik levhalardan oluşturulurlar (Soong ve Spencer, 2002). Sürtünmeli

sönümleyiciler ise enerji sönümünü sağlamak için iki katı cisim arasındaki görelî kaymalardan yani katı cisim sürtünme mekanizmasından faydalanırlar (Zhang, 2000; Soong ve Spencer, 2002). Çevrimsel yük süresince hem çekme hem de basınç doğrultularında kaymaya zorlanan bu sürtünmeli cihazlar (Soong ve Spencer, 2002), genellikle Coulomb sürtünmesinin özelliklerine benzer şekilde dikdörtgen histeresis döngüler üretirler ve sönümleyicide deplasman ancak sönümleyiciyi uyaran kuvvet limit sürtünme kuvvetine ulaşırsa oluşur (Reinhorn ve diğ., 1995; Kelly, 2001b; Soong ve Spencer, 2002; Zelleke ve diğ., 2015). İlave sönümleyicilerin bir diğ er türü olan visko-elastik sönümleyiciler ise, genellikle kesme deformasyonu aracılığı ile enerjiyi sönümleyen kopolimer ya da camsı maddelerden yapılmış çelik plakalara bağı lı visko-elastik tabakalardır (Reinhorn ve diğ., 1995; Zhang, 2000; Kelly, 2001b; Soong ve Spencer, 2002; Zelleke ve diğ., 2015). Bir yapıya monte edildiklerinde, yapısal titreşim dış çelik flanşlar ve merkez plaka arasında görelî hareketi oluşturduğ unda kesme deformasyonu ve dolayısıyla enerji sönümü meydana gelir (Zhang, 2000; Soong ve Spencer, 2002). Paralel olarak hareket eden yay-sönümleyici eleman ile modellenen (Zelleke ve diğ., 2015) bu sistemlerde üretilen kuvvet, doğrudan sönümleyicinin iki ucu arasındaki görelî hızla orantılı olan sönüm kuvveti ve kuvvet ile deplasmanı ilişkilendirerek sönüme sebebiyet veren elastik kuvvetin bir kombinasyonudur (Kelly, 2001b; Zelleke ve diğ., 2015). Ayarlı kütle sönümleyicilerde ise ana kütle nin titreşimini azaltmak için bu ana kütle ye oranla daha küçük bir kütle yapısal sisteme eklenir ve titreşimlerin yutulması sağlanır (Zhang, 2000). Ancak bu sistemlerin sismik uygulaması sadece bir modun (genellikle ilk mod) titreşimini azaltmada etkili olabildiğı için sınırlıdır (Zhang, 2000; Soong ve Spencer, 2002). Örneğ in, De Domenico ve Ricciardi (2018) taban izolasyonlu binaların dinamik performanslarını iyileştirmek amacıyla izolasyon katının altına yani taban seviyesine ayarlı kütle sönümleyiciler tanımlamış ve bu cihazların etkinliğini geliştirmek için ilave eylemsizlik kütle sönümleyicilerini de literatürde önerilen altı farklı kombinasyonda eklemişlerdir. En uygun tasarımı elde etmek için bu altı sistemin sismik performansını 52 adet doğ al yer hareketi altında karşılaştırmalı bir şekilde incelemişler ve Hashimoto ve diğ. (2015) çalışmasında önerilen, ayarlı kütle sönümleyici ve taban izolasyon sisteminin arasına eylemsizlik sönümleyicilerinin eklenmesi ile oluşturulan 2.H modelinin maksimum üstyapı ile ilgili yanıtları (özellikle toplam ivmeleri) azaltmada en iyi olduğunu göstermişlerdir. Ayrıca, bu sistemlerin ayarlı kütle eylemsizlik sönümleyici (TMDI) modellere göre daha yüksek yanıtlara yol açmalarına rağmen ayarlı kütle sönümleyici ile ilgili (TMD-related) modeller daha az

miktarda maliyet gerektirdiğinden en uygun tasarımı sağlayabilecekleri sonucuna da varmışlardır. Mevcut tez çalışması kapsamında da kullanılan viskoz sıvı sönümleyiciler ise tipik olarak silikon sıvı ya da yağ ile dolu paslanmaz bir hazne, bronz dar kanalları olan paslanmaz bir piston ve bazı durumlarda sisteme eklenen akümülatörlerden oluşurlar. Bu sönümleyicilerde, pistonun hareketi ile birlikte viskoz sıvının piston üzerindeki dar kanallardan geçişi sırasında histeresis eğrilere yol açan bir direnç kuvveti oluşur ve enerji tüketilir (Constantinou ve Symans, 1992; Reinhorn ve diğ., 1995; Zhang, 2000; Kelly, 2001b; Soong ve Spencer, 2002). Enerjiyi hıza bağlı olarak sönümleyen viskoz sıvı sönümleyicilerde üretilen sönüm kuvveti, sönümleyicinin iki ucu arasındaki göreceli hız ile doğrudan orantılıdır (Reinhorn ve diğ., 1995; Zhang, 2000; Kelly, 2001b; Zelleke ve diğ., 2015). Ayrıca, özel olarak şekillendirilmiş kanallar vasıtasıyla sıvının akış hızının özellikleri değiştirilerek doğrusal olmayan davranış sergileyen ilave viskoz sönümleyiciler de üretilebilmektedir (Constantinou ve Symans, 1992; Constantinou ve diğ., 1993). Bunlara ek olarak, yüksek derecede viskoz bitümlü sıvı ile dolu ince çelik levhalardan yapılmış duvar haznesi ve bu haznenin içinde yüzen bir plakadan oluşan viskoz duvarlar da (Constantinou ve Symans, 1992; Reinhorn ve diğ., 1995; Soong ve Spencer, 2002) yüksek frekanslarda rijitleşen özellikleri sayesinde doğrusal olmayan viskoz davranış sergileyerek enerjiyi sönümlerler (Reinhorn ve diğ., 1995).

Literatürde, yukarıda özelliklerine kısaca değinilen ve yapısal sistemlere dahil edilerek sismik sönüm sağlayan bu ilave sönümleyicilerin farklı yönlerden incelendiği pek çok araştırma çalışması bulunmaktadır (Örneğin, Constantinou ve Symans, 1992; Constantinou ve diğ., 1993; Reinhorn ve diğ., 1995; Rai, 1999; Soong ve Spencer, 2002; Martinez-Rodrigo ve Romero, 2003; Goel, 2005; Hwang ve diğ., 2008; Occhiuzzi, 2009; Ikago ve diğ., 2012; Narkhede ve Sinha, 2014; Tubaldi ve diğ., 2015; Yamamoto ve diğ., 2016; Banazadeh ve Ghanbari, 2017; Bougteb ve Ray, 2018). Ancak daha önce de belirtildiği gibi özellikle sismik izolasyonlu yapılarda yakın fay deprem kayıtları altında oluşabilecek çok büyük izolasyon sistemi deplasmanlarının (Hall, 1998; Somerville ve Graves, 2003) önüne geçebilmek yani bu yapıların güvenliğini sağlayabilmek adına taban izolasyon sistemlerine ilave sönümleyicilerin dahil edilmesi büyük önem arz etmektedir. Yapılan literatür taramasında, sismik olarak izole edilmiş bina türü yapılarda izolasyon sistemine dahil edilebilecek ilave sönümleyiciler sayesinde bu yapıların izolasyon sistemi deplasmanlarının azaltılabileceğini gösteren çalışmalar tespit edilmiştir. Bu kapsamda Hall ve Ryan (2000) simüle edilmiş çok ciddi yer hareketi kayıtları altında UBC (1997) yönetmeliğine göre tasarlanmış altı katlı taban izolasyonlu bir binayı

incelemişler, üstyapının doğrusal olmayan davranış sergileyebileceğini göstermişler ve %20 sönüm oranına sahip ilave sönümleyicilerin kullanımı aracılığı ile yüksek görelî kat öteleme oranlarının sert bir şekilde azaltılabileceğini ortaya koymuşlardır. Alhan ve Gavin (2004) ise yüksek mod etkileri, görelî kat öteleme oranları ve kat ivmeleri üzerinde izolasyon sönümü ve izolasyon rijitliğinin etkilerini incelemek için 8 katlı L şeklinde plan düzensizliği olan bir yapısal modeli doğrusal viskoz sönümleyici ve doğrusal olmayan akan histeretik izolasyon sistemi ile birleştirmiş, farklı izolasyon periyotları, izolasyon sönüm özellikleri ve izolasyon sönüm seviyeleri için çift yönlü yer hareketleri altında dinamik davranışlarını incelemişlerdir. Artan sönümün izolatör deplasmanlarını azaltırken incelenen yapılarda görelî kat ötelemeleri ve kat ivmelerinde artışa neden olduklarını belirtmişlerdir. Öte yandan, kat ivmeleri ve görelî kat ötelemelerini önemli miktarda arttırmadan taban ötelemelerini sınırlandırmak için izolasyon rijitliği ve sönümünün uygun seviyelerinin seçilebileceğini, ancak yine de, rijitlik ve sönümün uygun değerlerinin deprem kaydının türüne bağlı olarak değişebileceğini belirtmişlerdir. Providakis (2008) izolasyon sistemini kurşun çekirdekli kauçuk mesnetlerden oluşturduğu taban izolasyonlu binalarda yakın fay yer hareketlerinin etkisi altında oluşabilecek büyük izolatör deplasmanlarını azaltmak için taban izolasyon sistemine ilave viskoz sönümleyiciler eklemiştir. Ancak uzak fay yer hareketleri etkisi altında ilave sönümün binayı rijitleştirerek üstyapı ötelemelerinin artmasına sebep olduğunu görmüş ve üstyapı kuvvetlerini önemli miktarda arttırmadan izolatör deplasmanlarını azaltmak için ilave sönümleyici kullanmanın uygun olacağını belirtmiştir. Daha sonra, Mazza ve Vulcano (2009) yüksek sönümlü kauçuk mesnetler ve ilave viskoz sönümleyicilerden oluşan izolasyon sistemine sahip tipik beş katlı betonarme binalar ile ilgili nümerik bir çalışma yaparak yakın fay yer hareketine maruz kalmaları durumunda bu orta katlı taban izolasyonlu çerçeve tipi binaların dinamik yanıtlarında ilave viskoz sönümleyicilerin etkisini incelemişlerdir. İlave viskoz sönümleyiciler izolasyon sistemi deplasman taleplerini azalttığından dolayı daha küçük boyutlara sahip izolatörlerin kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Providakis (2009) ise kurşun çekirdekli kauçuk mesnetli ve sürtünmeli sarkaç sistemli olarak oluşturduğu iki ayrı izolasyon sistemine sahip binalarda sismik izolatörlere paralel olarak ilave viskoz sönümleyiciler eklemiş ve hem yakın hem de uzak fay yer hareketlerinin etkisi altında oluşan sismik performanslarını nümerik olarak değerlendirmiştir. İlave viskoz sönümün uzak fay deprem kayıtları altında görelî kat ötelemelerini arttırırken yakın fay deprem kayıtları altında bazı durumlarda kat ivmelerini arttırdıklarını belirtmiştir. Uzak fay deprem kayıtlarının etkisi altında güvenliğin taban ile en

üst kat arasındaki öteleme yanıtını önemli miktarda arttırmadan mesnet deplasmanlarını azaltarak sağlanabileceği sonucuna varmıştır. Lu ve diğ. (2013) sarsma tablası testleri vasıtasıyla gerçekleştirdikleri deneysel çalışmada, puls-benzeri taban uyarımları altında kayıcı türde izolatörler ile izole edilmiş ve izolasyon sistemine ilave viskoz sönümleyiciler dahil edilmiş yapıların yanıtları üzerinde ilave viskoz sönümün etkisini değerlendirmişlerdir. Test sonuçları doğrultusunda uzun periyotlu puls bileşenleri tarafından uyarılan rijit bir üstyapı için viskoz sönümleyicinin üstyapı ivme seviyesini arttırmadan pik taban deplasmanını etkili bir şekilde azaltabileceğini, ancak yine de puls bileşeni içermeyen uyarımlar altında yapısal ivmeyi az miktarda arttırabileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca, doğrusal ve doğrusal olmayan viskoz modeller de kullanılarak test sonuçları üzerinde sönümleyicinin doğrusal olmamasının etkisini de araştırmışlardır. Güler ve Alhan (2015) taban izolasyonlu binalarda izolasyon sistemine dahil ettikleri doğrusal ve doğrusal olmayan viskoz sönümleyicilerin sismik performanslarını ilave sönümleyici kullanılmayan durumu da dikkate alarak karşılaştırmışlardır. Doğrusal olmayan viskoz sönümleyicilerin yakın fay depremleri altında izolatör deplasmanlarını azaltmada doğrusal olanlara nazaran daha etkili olduğunu, ancak üstyapı yanıtlarını önemli miktarda arttırabilme potansiyelleri olduğunu göstermişlerdir. Wolff ve diğ. (2015) ise düşük sönümlü elastomerik ve tek sürtünmeli sarkaç mesnetlerle sismik olarak izole edilmiş çerçevelerin sismik davranışı üzerinde doğrusal ve doğrusal olmayan viskoz sönüm cihazlarının etkisini ilave sönümleyici kullanılmayan durum ile karşılaştırarak deneysel olarak araştırmışlardır. Çalışmaları kapsamında tek bir doğrusallık katsayısına sahip tipik bir doğrusal olmayan sönümleyici türü kullanarak tek bir ilave sönüm oranı katsayısı için spesifik bir tasarım yapmışlardır. İzolasyon sisteminin deplasman taleplerini azaltmada en az hasar verici durumun doğrusal ilave sönümleyicilerin uygulandığı durum olduğunu belirtmişlerdir. Zelleke ve diğ. (2015) ise beş farklı izolasyon sistemi türü ile desteklenmiş taban izolasyonlu bina modellerinin her birine viskoz, visko-elastik ve sürtünmeli ilave sönümleyiciler eklemişlerdir. Özellikle yakın fay depremleri altında izolatör seviyesindeki büyük deformasyonları kontrol etmek için ilave sönümleyicilerin yararlı olduğu sonucuna varmışlardır. Ayrıca, parametrik bir çalışma da gerçekleştirilerek diğer yanıtlar üzerinde olumsuz etki oluşturmada izolatör deplasmanlarını azaltmayı başarabilmek için sönümleyici parametrelerinin optimum aralıklarını belirlemişlerdir. Dirençli-sürtünmeli taban izolatörleri (resilient-friction base isolator) ve viskoz sönümleyicilerden oluşan kombinasyonun, üstyapı kuvvetlerinde önemli bir artışa yol açmadan taban deplasmanını azaltmada en etkili olduğu sonucuna da varmışlardır. Liao ve

Wang (2016) nümerik çalışmalarında ilk olarak büyük hız pulslı yakın fay yer hareketlerine maruz kalan sismik olarak izole edilmiş ve izole edilmemiş bina türü yapıların dinamik yanıtlarını karşılaştırmış ve bazı spesifik yakın fay deprem kayıtları altında izole edilmiş binaların sismik performanslarının izole edilmemiş olanlardan daha iyi olmadığını göstermişlerdir. Ardından, yine bu kayıtlar altında yapısal kuvvetleri mantıklı aralıklarda tutarken izolator deplasmanlarını azaltmak için sismik izolasyonlu binalara ilave elastik rijitlik veya ilave viskoz sönüm sağlamanın etkinliğini araştırmışlardır. Bu kapsamda yaptıkları parametrik çalışma sonucunda ilave cihazların kullanıldığı ve kullanılmadığı sismik olarak izole edilmiş binaların dinamik yanıtları için *PGV/PGA* oranı ve spektral hız parametrelerinin yakın fay puls benzeri yer hareketleri için bina yanıt karakteristiklerine önemli etkileri olabileceğini göstermişlerdir.

Giriş bölümünde de söz edildiği gibi tez çalışması kapsamında incelenen sıvı depolama tanklarının dinamik davranışları bina türü yapılardan çok daha karmaşıktır. Yakın fay depremleri altında taban izolasyonlu sıvı depolama tanklarının güvenliğini büyük taban deplasmanlarının yanı sıra çalkantı titreşimlerinin periyotları ile deprem puls periyotlarının çakışması sonucunda oluşabilecek çok büyük çalkantı deplasmanları da tehdit edebilmektedir. Dolayısıyla yakın fay depremlerinin etkisi altında oluşabilecek çok büyük taban deplasmanları ve çalkantı deplasmanlarının önüne geçebilmek için izolasyon sistemine ilave viskoz sönümleyicilerin dahil edildiği taban izolasyonlu sıvı depolama tanklarının dinamik davranışlarının hem yakın fay hem de uzak fay depremleri altında incelenmesi bu gibi önemli yapıların güvenliğini sağlamak açısından önemlidir. Bu kapsamda, taban izolasyonlu sıvı depolama tanklarına 3D-BASIS-ME (Tsopelas ve diğ., 1994) akademik yazılımı aracılığı ile ilave viskoz sönümleyicilerin dahil edilmesinin örneklendiği bir çalışma Tsopelas ve diğ. (1994) tarafından sunulmuştur. Buna ek olarak, Gazi ve diğ. (2015) ise izolasyon sistemine doğrusal olmayan ilave viskoz sönümleyiciler dahil ettikleri taban izolasyonlu sıvı depolama tanklarının sismik yanıtlarını ilave sönümleyicilerin eklenmediği durum ile karşılaştırmalı olarak incelemek için iki adet yakın fay ve iki adet uzak fay örnek tarihi deprem kayıtları altında doğrusal olmayan zaman tanım alanı analizleri gerçekleştirmişlerdir. Çalışmaları kapsamında, Tsopelas ve diğ. (1994) tarafından sunulan sıvı depolama tankı (üstyapı) modelini, yumuşak ikili lineer histeretik sönüm sağlayan izolatörlerden oluşan bir izolasyon sistemini ve iki farklı sönüm katsayısı değeri için doğrusal olmayan ilave sönümleyicileri dikkate almışlardır. Doğrusal olmayan ilave viskoz sönümleyici kullanmanın taban deplasmanlarını sönüm seviyesi

arttıkça azalttığını ve yüksek miktardaki doğrusal olmayan viskoz sönümün uzak fay depremleri altında üstyapı yanıtlarında önemli artışlara yol açabileceği uyarısında bulunmuşlardır. Ancak, tek bir yapısal örnek ve kısıtlı sayıda deprem kaydı kullanılan bu çalışmada, üstyapı esnekliği ve izolasyon sistemi karakteristik parametrelerinin sonuçlar üzerindeki olası etkileri incelenmemiştir.

Bölüm 2.2 ve 2.3’de özetlenen literatür araştırmasında, bu tez çalışması kapsamında gerçekleştirildiği gibi; (i) üstyapı özellikleri ile izolasyon sistemi özelliklerinin farklı kombinasyonlarının dinamik tepkiyi nasıl değiştireceğinin incelendiği, (ii) sentetik deprem kaydı üretiminde yakın fay depremi ileri doğrultu etkisinin faya olan uzaklık ve deprem büyüklüğüne bağlı olarak değişimini Somerville (1998) ilişkileri yardımıyla dikkate alan ve buna göre üretilen depremlerin etkisi altındaki taban izolasyonlu sıvı depolama tanklarının dinamik tepkilerinin özellikle bu parametrelere (puls periyodu ve pik yer hızı) bağlı olarak değişimini inceleyen ve (iii) taban izolasyonlu sıvı depolama tanklarına ait izolasyon sistemine ek olarak farklı sönüm oranlarına sahip doğrusal ilave sönümleyicilerin dahil edildiği bir çalışmaya rastlanmamıştır. Çalışma kapsamında ayrıca, sentetik depremler aracılığı ile yapılan incelemenin sonuçları gerçek deprem kayıtları kullanılarak da teyit edilmiştir.

2.4. 3D-BASIS-ME BİLGİSAYAR PROGRAMI

3D-BASIS-ME (Tsopelas ve diğ., 1994), üç boyutlu sismik olarak izole edilmiş tek ve çok serbestlik dereceli yapılar ile sıvı depolama tanklarının dinamik etkilere maruz kalmaları durumunda doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanı analizlerinin yapılabilmesi için geliştirilmiş bir programdır. Programın farklı özellikler ve kolaylıklar sağlayan 3D-BASIS (Nagarajaiah ve diğ., 1991), 3D-BASIS-M (Tsopelas ve diğ., 1991), 3D-BASIS-ME (Tsopelas ve diğ., 1994), 3D-BASIS-TABS (Nagarajaiah ve diğ., 1993; Reinhorn ve diğ., 1994) ve 3D-BASIS-ME-MB (Tsopelas ve diğ., 2005) serileri mevcuttur. Ancak sadece 3D-BASIS-ME (Tsopelas ve diğ., 1994) programına özgü olarak, doğrusal ve doğrusal olmayan viskoz sıvı sönümleyicilerin modellenenebilmesine, histeretik pekleşen davranışın modellenenebilmesine ve küresel kayıcı izolasyon sistemlerinin davranışının modellenenebilmesine olanak sağlanmaktadır. Ayrıca, bu programda kayıcı mesnetlerin davranışında düşey yer hareketleri ve devrilme momentlerinin etkileri de dikkate alınmaktadır (Tsopelas ve diğ., 1994).

3D-BASIS-ME (Tsopelas ve diğ., 1994) programının izolasyon sistemi üzerinde yer alan ortak bir taban (basemat) üzerinde birden çok sayıda üstyapıyı modelleme imkanı sunması ve serideki diğer programlardan farklı olarak doğrusal ve doğrusal olmayan ilave sönümleyicilerin modellenmesine imkan sağlaması, tez kapsamında dikkate alınan taban izolasyonlu sıvı depolama tankı modellerinin deprem davranışına ilave sönümleyicilerin etkisinin değerlendirilebilmesine imkan sağlamıştır. Bu sayede, sıvı depolama tanklarına ait çalkalanma modu ve tank-sıvı titreşim modu etkilerini temsil eden tek serbestlik dereceli sistemler kurulmuş, izolasyon sistemine ilave sönümleyiciler dahil edilmiştir.

Bu kapsamda, üstyapı geometrisine ait parametrelerin yani sıvı yüksekliğinin tank yarıçapına oranı H/R 'nin 0.50 ve tank kalınlığının tank yarıçapına oranı h/R 'nin 0.001 olduğu taban izolasyonlu sıvı depolama tankı modeli, 3D-BASIS-ME (Tsopelas ve diğ., 1994) programına veri girişini göstermek için örnek olarak seçilmiştir. Ekler başlığı altında bulunan *EK-1* ve *EK-2*'de, sırasıyla ilave viskoz sönümleyici kullanılmayan (izolasyon sistemine ait parametrelerin yani izolasyon periyodu T_0 'ın 2 s ve karakteristik kuvvet oranı Q/W 'nun %5 olduğu durum seçilmiştir) ve ilave viskoz sönümleyici kullanılan (izolasyon sistemine ait parametrelerin yani izolasyon periyodu T_0 'ın 2 s, karakteristik kuvvet oranı Q/W 'nun %5 ve ilave viskoz sönümleyicilere ait sönüm oranı ζ 'nin %10 olduğu durum seçilmiştir) taban izolasyonlu sıvı depolama tanklarının örnek nümerik modelleri sunulmuştur.

EK-1 ve *EK-2*'den de görüleceği üzere programa veri giriş bilgileri; başlık satırı, birimler satırı, kontrol parametreleri, üstyapı verileri, izolasyon sistemi verileri ve çıktıların düzenlenmesine ilişkin verilerin girildiği kısımlardan oluşmaktadır (Tsopelas ve diğ., 1994). “Başlık satırı”nda girdi tarif edilirken, kullanılacak uzunluk, kütle ve zaman birimleri ise “birimler satırı”nda sunulmaktadır. “Kontrol parametreleri” kapsamında, tüm yapıya ait verilerin girildiği satırda üstyapının üç boyutlu kesme binası veya tam üç boyutlu model olarak tanımlanması durumlarından biri seçilebilmektedir. Bu durumlarda üç boyutlu kesme binası modeli için üstyapı rijitliği doğrudan veri olarak girilir veya tam üç boyutlu model olarak modellenmesi için özdeğer ve özvektör değerleri örneğin SAP2000 (2019) gibi bir sonlu elemanlar programında yapılan serbest titreşim analizi sonucunda elde edilerek girilir. Ayrıca, ortak bir temel üzerindeki üstyapı sayısı, mesnet sayısı, istenilen izolatör çıktılarının sayısı ve yerçekimi ivmesi programa veri olarak aktarılır. Üstyapı ile ilgili parametrelerden üstyapının kat sayısı ve özdeğer sayısı her bir üstyapı için ayrı ayrı girilmektedir (Sıvı depolama tankları için

çalkalanma modu ve tank-sıvı titreşim modlarının her biri ayrı bir üstyapı olarak tanımlanır). İntegrasyon kontrol parametreleri ise, integrasyon zaman aralığı, doğrusal olmayan kuvvet vektörü hesaplanmasında dikkate alınan tolerans aralığı, izolasyon katı kütle merkezinin referans moment değeri, maksimum iterasyon sayısı ve zaman aralığındaki değişimin sabitliğidir. Newmark metodu ile ilgili satırda bir zaman aralığı içerisinde nümerik sönüm üreten parametre ve bir zaman aralığı içerisinde ivmenin değişimini kontrol eden parametre girilmektedir. Deprem girdileriyle ilgili kontrol parametreleri satırına, depremin X, Y ve Z yönlerinden hangisi veya hangilerinden geldiği, deprem kaydının zaman aralığı, uzunluğu, depremin geliş açısı ve yük faktörü girilmelidir.

“Üstyapı”nın üç boyutlu kesme binası olarak modellenmesi durumunda tüm katlar için X ve Y doğrultularındaki kesme rijitliği ile burulma rijitliği değerleri girilir. Her bir katın kütle merkezi ile rijitlik merkezi arasında oluşan dışmerkezlilik değerleri sırasıyla X ve Y doğrultuları için girilir. Üstyapının tam üç boyutlu model olarak kabul edilmesi durumunda ise özdeğerler ve özvektörler yazılır. Üstyapı kütle verileri en üst kattan en alt kata doğru her kat için kat ağırlığı ve kat dönme kütleleri olarak girilir. Daha sonra, sırasıyla üstyapı doğal sönüm oranları, en üst kattan ilk kata doğru olmak üzere kat kütle merkezinin temel kütle merkezinden olan mesafesi ve kat yükseklikleri girilir. Bu değerler her bir üstyapı için tekrar edilir.

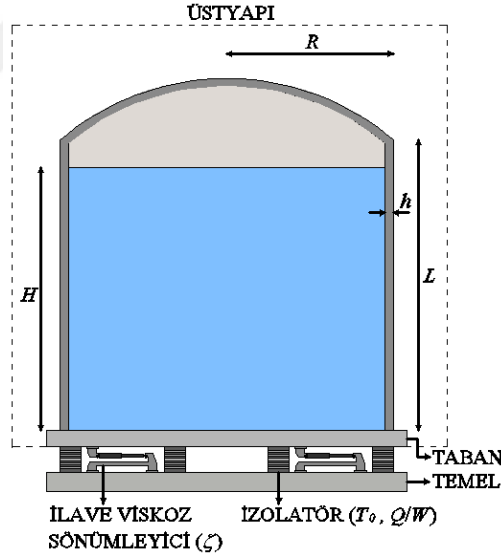
“İzolasyon sistemi”ni oluşturan cihazların tanımlanmasıyla ilgili olarak taban kütlesi ve taban dönme kütlesi girilir. Her bir izolatör elemanının X veya Y doğrultusunda tek eksenli (uniaxial) veya her iki doğrultuda çift eksenli (biaxial) olma durumu tanımlanır. Ardından bu elemanın doğrusal elastik eleman, viskoz eleman, elastomerik izolatörler için histeretik eleman, kayıcı izolatörler için histeretik eleman, sürtünmeli izolatör elemanı veya rijitleşen histeretik eleman çeşitlerinden hangisi olduğu veri olarak girilir. Tüm elemanlara ait karakteristik özellikler işlenir. Tez kapsamında kullanılan elastomerik mesnetli histeretik elemanlar için akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranı K_2/K_1 , akma dayanımı F_y ve akma yer değiştirmesi D_y değerleri X ve Y yönleri için yazılır. Ayrıca, yine bu tez kapsamında kullanılan ilave sönümleyiciler için her bir viskoz eleman X veya Y doğrultusunda tek eksenli (uniaxial) veya her iki doğrultuda çift eksenli (biaxial) olarak tanımlanır. Sonra her bir sönümleyiciye ait X doğrultusundaki sönüm katsayısı, Y doğrultusundaki sönüm katsayısı ve sönümleyicinin doğrusallık derecesini tanımlayan 0.50 ile 2.00 arasında değişen katsayı girilir (Constantinou ve diğ., 1992). Bu katsayının 1.0 olması eklenen sönümleyicinin doğrusal olduğunu gösterir.

“Çıktı verisi” düzenlemeleri kapsamında isteğe bağlı olarak, zaman-tanım alanı ve/veya en büyük tepkilerin çıktıları alınabilmektedir. Ayrıca, zaman-tanım alanı sonuçlarının kaç adımda bir alınmak istendiği ve ivme-deplasman profil çıktılarının görülmek istenip istenmediği seçilebilir. Çıktıda yanıtları görülmek istenilen izolatörlerin numaraları girilir. Göreli kat öteleme çıktıları için sonuçların görülmek istendiği aks sayısı girilir ve son satırlarda da göreli kat öteleme sonuçlarının alınabilmesi için sonuçların alınacağı kolonlara ait X ve Y koordinatları girilir.



3. MALZEME VE YÖNTEM

Bu bölümde taban izolasyonlu sıvı depolama tankları üç ana başlık altında incelenmiştir. İlk etapta izolasyon sisteminin üzerinde yer alan sıvı depolama tankı modelleri yani üstyapı modelleri tanımlanmış, ardından tankın üzerinde yer aldığı izolatör ve varsa ilave viskoz sönümleyicilerden oluşan izolasyon sistemi modellerine ait karakteristik değerler elde edilmiştir. Dikkate alınan taban izolasyonlu sıvı depolama tankı modellerinin üstyapı ve geometrik özellikleri Tsopelas ve diğ. (1994) çalışmasına benzer değerlerde alınmıştır. Su ile dolu olan sismik olarak izole edilmiş ilave viskoz sönümleyicili dairesel sıvı depolama tankına ait genel şematik görünüş Şekil 3.1’de sunulmuştur. Ayrıca, tanımlanan tank modellerine etkiyecek olan dış yük yani deprem kayıtlarına ait özellikler de üçüncü ana başlık altında anlatılmıştır. Sismik izolasyonlu sıvı depolama tanklarının modellenmesi, bu üç ana başlıktan elde edilen parametrelerin girdi verisi olarak 3D-BASIS-ME (Tsopelas ve diğ., 1994) akademik yazılımına işlenmesi ile tamamlanmıştır.



Şekil 3.1: Sismik olarak izole edilmiş ilave sönümleyici kullanılan sıvı depolama tankına ait genel şematik görünüş.

3.1. SİSMİK İZOLASYONLU SIVI DEPOLAMA TANKLARINA AİT ÜSTYAPI MODELLERİ

Çelik duvardan oluşmuş dairesel planlı ve su ile dolu tank modelleri, sıvının dökülmeden çalkalanmasına izin veren çelik konkav bir çatı ile kapatılmış olup taban kalınlığı $h_b = 45.72$

cm (1.5 ft) ve yarıçapı $R_b = 18.59$ m (61 ft) olarak alınmış betonarme bir tabanın üzerine yerleştirilmiştir. Betonarme tabanın boyutları, Tsopelas ve diğ. (1994) çalışmasında sunulan boyutlar ile tamamen aynıdır.

Haroun ve Housner (1981)'e göre sıvı depolama tanklarının sismik davranışını belirleyen iki ana parametreden ilki, sıvı yüksekliğinin (H) tank yarıçapına (R) oranı H/R 'dir. Tez kapsamında tankın narinliğini temsil eden bu H/R oranı tipik aralığı tarayacak şekilde 0.50, 0.75, 1.00, 1.25, 1.50, 1.75 ve 2.00 değerleri için incelenmiştir. Sıvı depolama tankı modellerinin tümü için tankın yarıçapı, Tsopelas ve diğ. (1994) çalışmasında sunulan değer ile aynı yani $R = 18.29$ m (60 ft) olarak seçilmiştir. Bu durumda parametrik çalışma kapsamında dikkate alınan su yüksekliği (H) değerleri, yukarıda verilen H/R oranları için sırasıyla, 9.14, 13.72, 18.29, 22.86, 27.43, 32.00 ve 36.58 m (30, 45, 60, 75, 90, 105 ve 120 ft) olarak elde edilmiştir. Tank yüksekliği (L) ise tüm modeller için tankın içerisinde bulunan suyun yüksekliğinin 0.61 m (2 ft) üzerinde olacak şekilde kabul edilmiştir. Bu kabule göre L değerleri sırasıyla, 9.75, 14.33, 18.90, 23.47, 28.04, 32.61 ve 37.19 m (32, 47, 62, 77, 92, 107 ve 122 ft) olarak elde edilmiştir.

Bu tür üstyapıların sismik davranışını belirleyen ikinci ana parametre ise, çelik tank cidar kalınlığının (h) tank yarıçapına oranı h/R 'dir (Haroun ve Housner, 1981). Tankın esnekliğini temsil eden bu h/R oranı için sırasıyla esnek ve rijit tank modellerini temsil eden 0.001 ve 0.004 değerleri dikkate alınmıştır. Bu durumda tank duvarı ve konkav çatı çelik cidar kalınlığı (h) sırasıyla, 1.83 cm (0.72 in) ve 7.32 cm (2.88 in) olarak hesaplanmıştır.

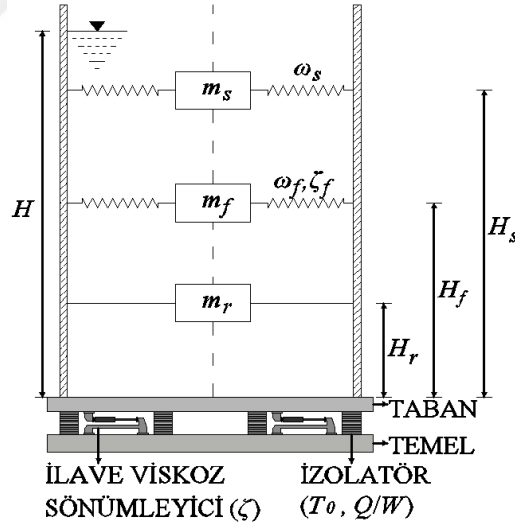
Yukarıda sunulan geometrik değerler yardımıyla her bir sıvı depolama tankı modelinin izolasyon sistemi üzerindeki toplam fiziksel ağırlığı (W_t), toplam çelik tank ağırlığına (W_{st}) tankın içinde bulunan su ağırlığının ($W_w = \pi \times R^2 \times H \times \rho_w$) ve betonarme taban ağırlığının ($W_{cb} = \pi \times R_b^2 \times h_b \times \rho_c$) eklenmesi ile elde edilmiştir. Toplam çelik tank ağırlığı ($W_{st} = W_{stw} + W_{str}$) ise çelik tank duvar ağırlığı ($W_{stw} = 2 \times \pi \times R \times L \times h \times \rho_s$) ile çelik tank çatı ağırlığının ($W_{str} = 1.034 \times \pi \times R^2 \times h \times \rho_s$) toplamından hesaplanmıştır. Burada, çelik birim ağırlığı (ρ_s) 7850 kg/m³ (490 lb/ft³), su birim ağırlığı (ρ_w) 1000 kg/m³ (62.75 lb/ft³) ve beton birim ağırlığı (ρ_c) 2400 kg/m³ (150 lb/ft³)'tür. İzolasyon sisteminin üzerinde yer alan sıvı depolama tank modellerine ait fiziksel ağırlık değerleri Tablo 3.1'de sunulmuştur.

Tablo 3.1: Sıvı depolama tank modellerine ait fiziksel ağırlık değerleri.*

H/R	W_{st} [kN]		W_w [kN]	W_{cb} [kN]	W_t [kN]	
	$h/R = 0.001$	$h/R = 0.004$			$h/R = 0.001$	$h/R = 0.004$
0.50	3106.3	12425.1	94705.2	11699.8	109511.3	118830.1
0.75	3845.8	15383.2	142057.8	11699.8	157603.4	169140.8
1.00	4585.3	18341.3	189410.4	11699.8	205695.5	219451.5
1.25	5324.9	21299.5	236763.0	11699.8	253787.6	269762.2
1.50	6064.4	24257.6	284115.6	11699.8	301879.8	320073.0
1.75	6803.9	27215.7	331468.2	11699.8	349971.9	370383.7
2.00	7543.5	30173.8	378820.8	11699.8	398064.0	420694.4

* İlgili değerlerin kips birimi türünden karşılıkları 4.4482'ye bölünerek elde edilebilmektedir.

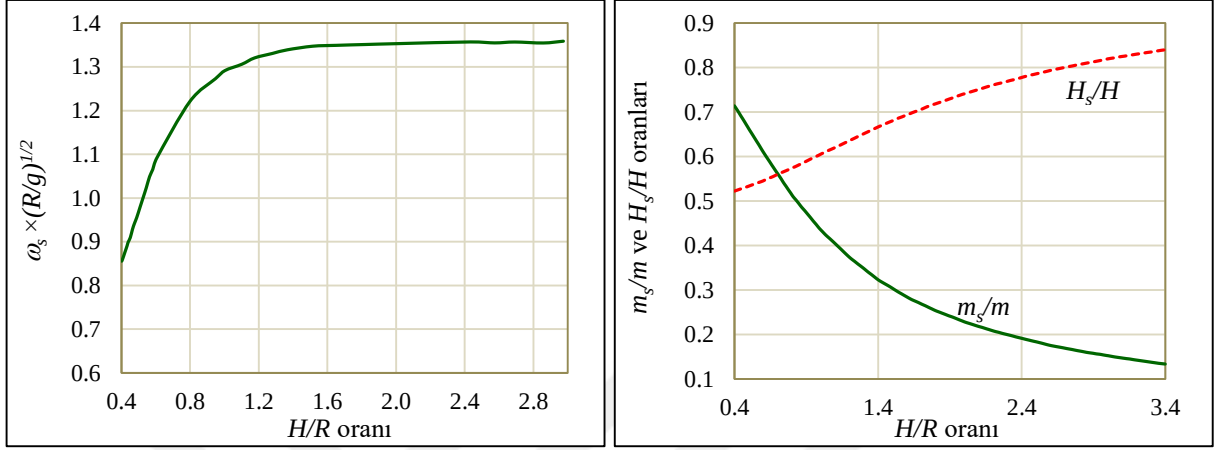
Sıvı depolama tanklarının matematiksel modelleri, tank duvarının deformasyonunu ve tank içerisindeki sıvının çalkalanmasını dikkate alan Haroun ve Housner (1981) tarafından önerilen mekanik model üzerine kurulmuştur. Tez kapsamında, söz konusu model, Tsopelas ve diğ. (1994) tarafından ortaya konulduğu şekilde taban izolasyon sistemi de göz önünde bulundurularak Şekil 3.2'de gösterildiği gibi değiştirilerek kullanılmıştır.



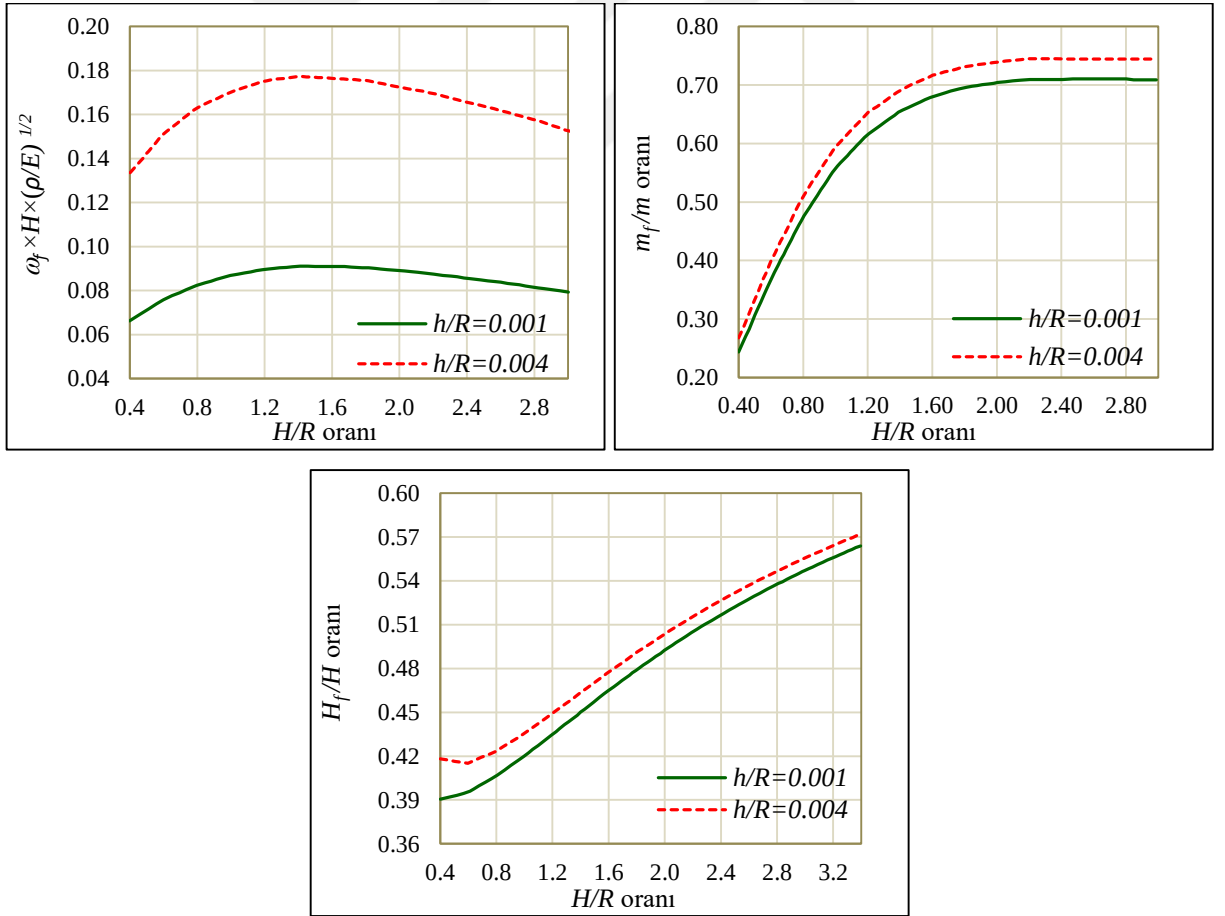
Şekil 3.2: Taban izolasyonlu sıvı depolama tanklarının mekanik modeli (Haroun ve Housner (1981)'den değiştirilerek alınmıştır).

Şekil 3.2'de görülen m_s , m_f ve m_r efektif kütleleri sırasıyla sıvının çalkalanması, çelik duvarın tabana göre deformasyonu ve yer hareketi ile ilgili kuvvetlere karşılık gelmekte olup; H_s , H_f ve H_r yükseklikleri ise söz konusu kütlelere karşılık gelen etkili yüksekliklerdir. Su ile dolu tanklar için söz konusu efektif kütleler ve etkin yükseklikler ile çalkalanma modu (ω_s) ve sıvı-tank etkileşim modu (ω_f) hakim frekansları, Haroun ve Housner (1981) tarafından farklı H/R ve h/R

oranları için ortaya konulmuş olup söz konusu değerlerin elde edilebileceği $\omega_s \times (R/g)^{1/2}$, m_s/m , H_s/H , $\omega_f \times H \times (\rho/E)^{1/2}$, m_f/m ve H_f/H fonksiyonlarının H/R oranına bağlı değişimleri Şekil 3.3 ve 3.4'te sunulmuştur.



Şekil 3.3: Çalkalanma moduna ait parametreler (Haroun ve Housner, 1981).

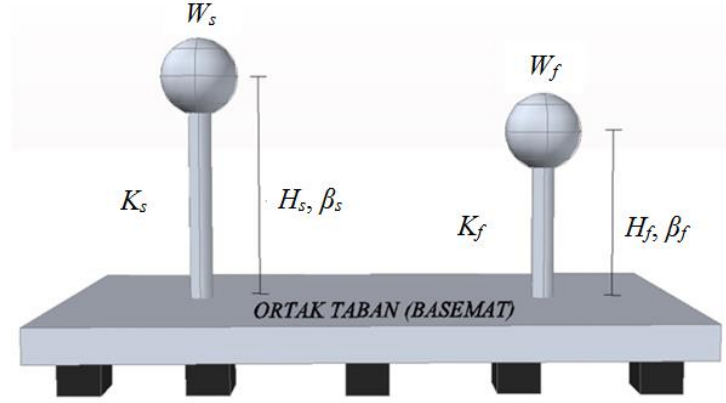


Şekil 3.4: Sıvı-tank etkileşim moduna ait parametreler (Haroun ve Housner, 1981).

Şekil 3.3 ve 3.4’te kullanılan E , g , ρ ve m sembolleri sırasıyla çeliğin elastisite modülünü ($E = 206.85 \times 10^6 \text{ kN/m}^2 = 30 \times 10^6 \text{ lb/in}^2$), yerçekimi ivmesini, sıvı yoğunluğunu ve toplam sıvı kütlesini yani çalışma kapsamında suyun kütlesini $m_w = W_w/g$ temsil etmektedir. Oluşturulan modellerde, çalkantı ve sıvı-tank etkileşim modlarına ait kritik sönüm oranları sırasıyla $\beta_s = \%0.5$ ve $\beta_f = \%2.0$ olarak alınmıştır. Sıvının çalkalanmadan rijit olarak yer hareketi ile senkronize hareket eden kısmı (rigid convective fluid) ise Tsopelas ve diğ. (1994) çalışmasında olduğu gibi, betonarme taban ile birlikte hareket edecek şekilde modellenmiştir. Toplam ağırlık W_t ’den çalkalanma modu, sıvı-tank etkileşim modu ve rijit betonarme tabana ait ağırlık değerleri çıkartılırsa rijit davranış gösteren sıvının ağırlığı $W_r = W_t - W_s - W_f - W_{cb}$ ve kütlesi $m_r = W_r/g$ elde edilebilmektedir.

Taban izolasyonlu sıvı depolama tanklarının, Haroun ve Housner (1981) tarafından sunulan mekanik analog (Şekil 3.2) esas alınmak suretiyle nümerik modellenmesi Tsopelas ve diğ. (1994) tarafından ortaya konmuştur. Buna göre, sıvının çalkantısını ve tank-sıvı titreşimini temsil eden tek serbestlik dereceli sistemler, izolasyon sistemi üzerinde yer alan ortak bir taban (basemat) üzerinde yer alacak şekilde Şekil 3.5’de gösterildiği gibi modellenmektedir. Tsopelas ve diğ. (1994) tarafından, ortak bir taban üzerinde birden çok üstyapının modellenenebildiği 3D-BASIS-ME akademik yazılımı geliştirilmiş olup, bu yazılım sayesinde taban izolasyonlu sıvı depolama tanklarının modellenmesi ve doğrusal olmayan dinamik zaman tanım alanı analizlerinin yapılması mümkün olabilmektedir.

Tez kapsamındaki matematik modellerin kurulmasına ilişkin çalkantı modu ile ilgili önemli parametrelere ait değerler hesaplanarak Tablo 3.2’de, sıvı-tank modu ve rijit kısım ile ilgili önemli parametrelere ait değerler ise Tablo 3.3 ve 3.4’te verilmiştir. Bu tablolarda, sıvının çalkalanma modu periyodu T_s ve 3D-BASIS-ME modellemesinde kullanılan çalkalanma modu rijitliği K_s değerleri sırasıyla $T_s = 2 \times \pi / \omega_s$ ve $K_s = \omega_s^2 \times m_s$ formüllerinden elde edilmiştir. Benzer şekilde, sıvı-tank etkileşim modu periyodu T_f ve sıvı-tank etkileşim modu rijitliği K_f değerleri sırasıyla $T_f = 2 \times \pi / \omega_f$ ve $K_f = \omega_f^2 \times m_f$ formüllerinden elde edilmiştir.



Şekil 3.5: Ortak izolasyon tabanı üzerinde tek serbestlik dereceli sistemlerden oluşan model (Tsopelas ve diğ. (1994)'ten değiştirilerek alınmıştır).

Tablo 3.2: Üstyapıya ait çalkantı modu ile ilgili karakteristik değerler.*

ÇALKANTI MODU ($\beta_s = 0.005$)						
H/R	ω_s [rad/s]	T_s [s]	W_s [kN]	m_s [kN.s ² /m]	K_s [kN/m]	H_s [m]
0.50	0.85	7.42	62559.1	6379.3	4569.0	4.87
0.75	0.93	6.74	75921.9	7741.9	6729.3	7.77
1.00	0.97	6.49	81941.2	8355.7	7838.6	11.07
1.25	0.98	6.39	84466.4	8613.2	8329.2	14.73
1.50	0.99	6.35	85494.0	8718.0	8533.1	18.68
1.75	0.99	6.34	85907.0	8760.1	8615.8	22.83
2.00	0.99	6.33	86072.1	8776.9	8648.9	27.13

* İlgili kN, kN.s²/m, kN/m ve m değerlerinin kips, k.s²/in, k/in ve ft karşılıkları sırasıyla 4.4482, 175.1268, 175.1268 ve 0.3048'e bölünerek elde edilebilmektedir.

Tablo 3.3: $h/R = 0.001$ için üstyapıya ait sıvı-tank modu ve rijit kısım ile ilgili karakteristik değerler.*

H/R	SIVI-TANK MODU ($\beta_f = 0.02$)					RİJİT-SIVI MODU			RİJİT KÜTLE	
	ω_f [rad/s]	T_f [s]	W_f [kN]	m_f [kN.s ² /m]	K_f [kN/m]	H_f [m]	W_r [kN]	m_r [kN.s ² /m]	$W_{cb} + W_r$ [kN]	$m_{cb} + m_r$ [kN.s ² /m]
0.50	39.99	0.16	28979.8	2955.1	4725618.5	3.59	6272.6	639.6	17972.4	1832.7
0.75	30.30	0.21	63783.9	6504.2	5973242.0	5.54	6197.7	632.0	17897.5	1825.0
1.00	24.44	0.26	105501.6	10758.2	6427309.6	7.68	6553.0	668.2	18252.8	1861.3
1.25	20.24	0.31	147976.9	15089.4	6179877.5	10.03	9644.6	983.5	21344.4	2176.5
1.50	17.05	0.37	189789.2	19353.1	5628401.4	12.55	14896.8	1519.0	26596.6	2712.1
1.75	14.53	0.43	229376.0	23389.8	4939654.1	15.22	22989.1	2344.2	34688.9	3537.3
2.00	12.52	0.50	266689.8	27194.8	4261214.9	18.01	33602.3	3426.5	45302.1	4619.5

* İlgili kN, kN.s²/m, kN/m ve m değerlerinin kips, k.s²/in, k/in ve ft karşılıkları sırasıyla 4.4482, 175.1268, 175.1268 ve 0.3048'e bölünerek elde edilebilmektedir.

Tablo 3.4: $h/R = 0.004$ için üstyapıya ait sıvı-tank modu ve rijit kısım ile ilgili karakteristik değerler.*

H/R	SIVI-TANK MODU ($\beta_f = 0.02$)					RİJİT-SIVI MODU			RİJİT KÜTLE	
	ω_f [rad/s]	T_f [s]	W_f [kN]	m_f [kN.s ² /m]	K_f [kN/m]	H_f [m]	W_r [kN]	m_r [kN.s ² /m]	$W_{cb} + W_r$ [kN]	$m_{cb} + m_r$ [kN.s ² /m]
0.50	79.98	0.08	31631.5	3225.5	20631776.2	3.81	12939.7	1319.5	24639.5	2512.5
0.75	60.04	0.10	68756.0	7011.2	25276278.4	5.78	12763.1	1301.5	24462.9	2494.5
1.00	47.81	0.13	112320.4	11453.5	26179442.6	7.97	13490.2	1375.6	25190.0	2568.7
1.25	39.54	0.16	156737.1	15982.7	24991846.9	10.35	16859.0	1719.1	28558.8	2912.2
1.50	33.15	0.19	200017.4	20396.1	22416084.7	12.91	22861.8	2331.3	34561.6	3524.3
1.75	28.22	0.22	240977.4	24572.9	19573615.3	15.60	31799.5	3242.6	43499.3	4435.7
2.00	24.23	0.26	279948.5	28546.8	16761642.4	18.42	42973.9	4382.1	54673.7	5575.2

* İlgili kN, kN.s²/m, kN/m ve m değerlerinin kips, k.s²/in, k/in ve ft karşılıkları sırasıyla 4.4482, 175.1268, 175.1268 ve 0.3048'e bölünerek elde edilebilmektedir.

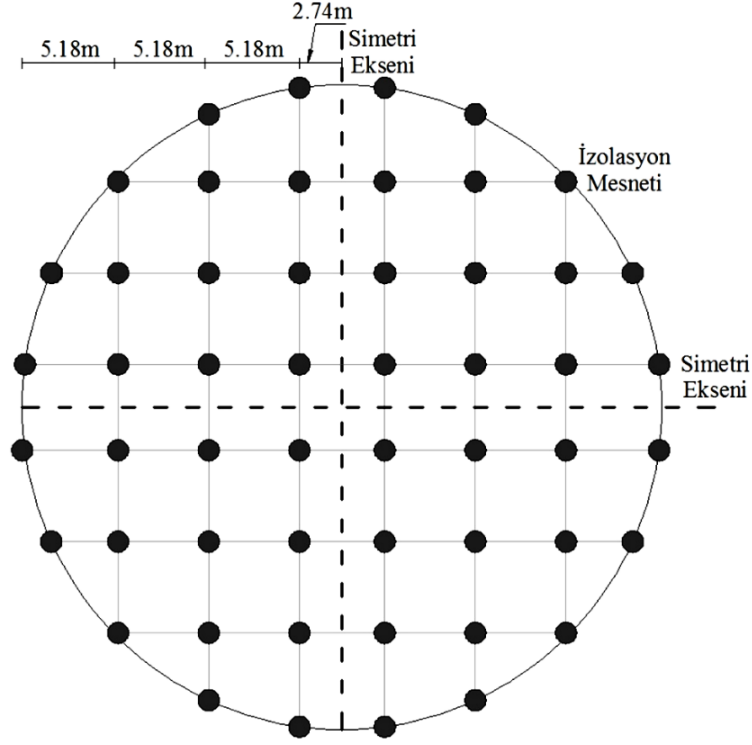
3.2. SİSMİK İZOLASYONLU SIVI DEPOLAMA TANKLARINA AİT İZOLASYON SİSTEMİ MODELLERİ

Su ile dolu olan çelik tankın üzerine oturduğu rijit betonarme tabanın altına elastomerik izolatörler ve varsa bu izolatörlere paralel olarak yerleştirilmiş ilave viskoz sönümleyicilerden oluşan farklı karakteristik özelliklere sahip sismik izolasyon sistemleri modellenmiştir. Parametrik çalışma kapsamında izolasyon sistemi özelliklerinin pratikte kullanılan değerleri dikkate alınmıştır. Bu kısımda, izolasyon sistemi modelleri temel olarak ilave viskoz sönümleyicilerin dahil edilip edilmeme durumlarına göre iki ana başlık altında anlatılmıştır.

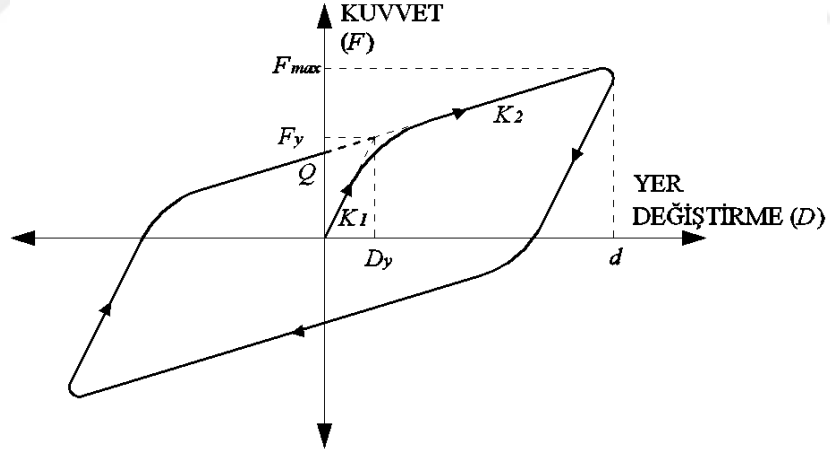
3.2.1. İlave Viskoz Sönümleyici Kullanılmayan İzolasyon Sistemi Modelleri

Üstyapının altına yerleştirilen izolasyon sistemi modelleri (ilave viskoz sönümleyici kullanılmamıştır), tamamen simetrik olarak yerleştirilmiş 52 adet eşdeğer elastomerik (kurşun çekirdekli kauçuk) mesnetten oluşmaktadır (Şekil 3.6). Bu izolasyon sistemindeki izolatörlerin yerleşim düzeni Tsopelas ve diğ. (1994) tarafından sunulan çalışmadaki gibidir.

Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler, doğrusal olmayan malzeme davranışı sergileyerek histeretik enerji sönümü sağlarlar. Bu elastomerik izolasyon elemanlarının kuvvet-yer değiştirme davranışını temsil eden yumuşak ikili-lineer histeretik eğri Bouc-Wen (Bouc, 1967; Wen, 1976) histeretik modeline dayanmaktadır (Şekil 3.7). Söz konusu modele ait detaylar Tsopelas ve diğ. (1994)'te mevcuttur.



Şekil 3.6: Elastomerik izolatörlerden oluşan izolasyon sistemine ait yerleşim planı (Tsopelas ve diğ. (1994)'ten değiştirilerek alınmıştır).



Şekil 3.7: Elastomerik izolatörlerin kuvvet-yer değiştirme ilişkisini temsil eden yumuşak ikili lineer histeretik eğri (Naeim ve Kelly, 1999).

Yapının izolasyonlu davranışını belirleyen ve 3D-BASIS-ME (Tsopelas ve diğ., 1994) modellemesinde kullanılan izolasyon sisteminin temel mekanik parametreleri, izolasyon sisteminin akma öncesi ve akma sonrası rijitlikleri K_1 ve K_2 , karakteristik kuvvet Q , akma dayanımı F_y ve akma yer değiştirmesi D_y olarak sıralanabilir. Ayrıca F_{max} ve d , sırasıyla maksimum kuvvet ve buna karşılık gelen maksimum yer değiştirme değerlerini göstermektedir (Şekil 3.7). Bu parametrelere bağlı olarak, akma sonrası izolasyon periyodu (veya rijit-cisim-

periyodu) T_0 ve akma sonrası açısal frekans ω_0 aşağıdaki şekilde sunulur (Nagarajaiah ve diğ., 1991):

$$T_0 = \frac{2 \times \pi}{\omega_0} \quad (3.1)$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{K_2 \times g}{W}} \quad (3.2)$$

Diğer parametreler arasındaki ilişki ve akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranı α ise Naeim ve Kelly (1999) tarafından şöyle tanımlanmıştır:

$$Q = (K_1 - K_2) \times D_y \quad (3.3)$$

$$\alpha = \frac{K_2}{K_1} \quad (3.4)$$

$$K_1 = \frac{F_y}{D_y} \quad (3.5)$$

Tez kapsamında, ilave sönümleyicilerin dahil edilmediği doğrusal olmayan izolasyon sistemlerinin tasarımında, akma sonrası izolasyon periyotlarının (T_0) 2 s ve 4 s olduğu durumların her biri için toplam karakteristik kuvvet oranları (Q/W) %5, %7.5 ve %10 olarak seçilmiştir. İzolasyon periyodu ve karakteristik kuvvet oranlarını hesaplamada, Tsopelas ve diğ. (1994) çalışmasında olduğu gibi izolasyon sisteminin üzerindeki toplam ağırlıktan (W_t) esnek olan çalkantı modu ağırlığı (W_s) çıkarılarak elde edilen efektif ağırlık ($W = W_t - W_s$) değerleri dikkate alınmıştır. Böylece her bir üstyapı modelinin altında 6 farklı ilave sönümleyici kullanılmayan izolasyon sistemi oluşturulmuştur. Bu izolasyon sistemlerinin tümünde akma yer değiştirmesi D_y , 1.5 cm (0.59 in) olarak kabul edilmiştir. Denklem (3.1), (3.2), (3.3), (3.4) ve (3.5)'te sunulan ilişkiler kullanılarak elde edilen karakteristik değerler, $T_0 = 2$ s ve $T_0 = 4$ s izolasyon periyoduna sahip sıvı depolama tankı modelleri için sırasıyla, Tablo 3.5 ve 3.6'da sunulmuştur.

Tablo 3.5: $T_0 = 2$ s izolasyon periyotlu sisteme ait karakteristik değerler.*

$h/R = 0.001$													
$Q/W = \%5$							$Q/W = \%7.5$						
H/R	W [kN]	K_2 [kN/m]	Q [kN]	K_1 [kN/m]	α	F_y [kN]	Q [kN]	K_1 [kN/m]	α	F_y [kN]	Q [kN]	K_1 [kN/m]	α
0.50	46952.2	47253.6	2347.6	203907.0	0.23	3055.8	3521.4	282233.8	0.17	4229.6	4695.2	360560.5	0.13
0.75	81681.5	82205.8	4084.1	354731.8	0.23	5316.0	6126.1	490994.8	0.17	7358.0	8168.1	627257.8	0.13
1.00	123754.4	124548.8	6187.7	537448.7	0.23	8054.2	9281.6	743898.6	0.17	11148.1	12375.4	950348.6	0.13
1.25	169321.2	170408.2	8466.1	735339.6	0.23	11019.8	12699.1	1017805.3	0.17	15252.8	16932.1	1300271.0	0.13
1.50	216385.7	217774.8	10819.3	939734.5	0.23	14082.9	16228.9	1300714.3	0.17	19492.5	21638.6	1661694.2	0.13
1.75	264064.9	265760.1	13203.2	1146798.7	0.23	17185.9	19804.9	1587318.0	0.17	23787.5	26406.5	2027837.3	0.13
2.00	311991.9	313994.7	15599.6	1354939.2	0.23	20305.1	23399.4	1875411.4	0.17	28104.9	31199.2	2395883.7	0.13
$h/R = 0.004$													
$Q/W = \%5$							$Q/W = \%7.5$						
H/R	W [kN]	K_2 [kN/m]	Q [kN]	K_1 [kN/m]	α	F_y [kN]	Q [kN]	K_1 [kN/m]	α	F_y [kN]	Q [kN]	K_1 [kN/m]	α
0.50	56271.0	56632.2	2813.6	244377.5	0.23	3662.2	4220.3	338250.1	0.17	5069.0	5627.1	432122.7	0.13
0.75	93218.9	93817.3	4660.9	404837.3	0.23	6066.9	6991.4	560347.3	0.17	8397.4	9321.9	715857.3	0.13
1.00	137510.4	138393.1	6875.5	597189.2	0.23	8949.5	10313.3	826587.2	0.17	12387.2	13751.0	1055985.3	0.13
1.25	185295.8	186485.4	9264.8	804715.2	0.23	12059.5	13897.2	1113830.1	0.17	16691.9	18529.6	1422945.0	0.13
1.50	234578.9	236084.8	11728.9	1018745.1	0.23	15266.9	17593.4	1410075.2	0.17	21131.4	23457.9	1801405.4	0.13
1.75	284476.7	286302.9	14223.8	1235444.3	0.23	18514.4	21335.8	1710015.0	0.17	25626.3	28447.7	2184585.8	0.13
2.00	334622.3	336770.4	16731.1	1453219.9	0.23	21778.0	25096.7	2011444.7	0.17	30143.5	33462.2	2569669.4	0.13

⁽¹⁾ İlgili kN ve kN/m değerlerinin kips ve k/in karşılıkları sırasıyla 4.4482 ve 175.1268'e bölünerek elde edilebilir.⁽²⁾ Buradaki W , etkin (efektif) ağırlık olup $W = W_t - W_s$ olarak verilmektedir.

Tablo 3.6: $T_0 = 4$ s izolasyon periyotlu sisteme ait karakteristik değerler.*

$h/R = 0.001$													
$Q/W = \%5$							$Q/W = \%7.5$						
H/R	W [kN]	K_2 [kN/m]	Q [kN]	K_1 [kN/m]	α	F_y [kN]	Q [kN]	K_1 [kN/m]	α	F_y [kN]	Q [kN]	K_1 [kN/m]	α
0.50	46952.2	11813.4	2347.6	168466.9	0.07	2524.6	3521.4	246793.6	0.05	3698.4	4695.2	325120.3	0.04
0.75	81681.5	20551.5	4084.1	293077.5	0.07	4392.1	6126.1	429340.5	0.05	6434.1	8168.1	565603.5	0.04
1.00	123754.4	31137.2	6187.7	444037.1	0.07	6654.3	9281.6	650487.0	0.05	9748.2	12375.4	856937.0	0.04
1.25	169321.2	42602.1	8466.1	607533.5	0.07	9104.5	12699.1	889999.2	0.05	13337.5	16932.1	1172464.9	0.04
1.50	216385.7	54443.7	10819.3	776403.4	0.07	11635.2	16228.9	1137383.2	0.05	17044.8	21638.6	1498363.0	0.04
1.75	264064.9	66440.0	13203.2	947478.6	0.07	14198.9	19804.9	1387997.9	0.05	20800.5	26406.5	1828517.2	0.04
2.00	311991.9	78498.7	15599.6	1119443.2	0.07	16776.0	23399.4	1639915.4	0.05	24575.8	31199.2	2160387.6	0.04
$h/R = 0.004$													
$Q/W = \%5$							$Q/W = \%7.5$						
H/R	W [kN]	K_2 [kN/m]	Q [kN]	K_1 [kN/m]	α	F_y [kN]	Q [kN]	K_1 [kN/m]	α	F_y [kN]	Q [kN]	K_1 [kN/m]	α
0.50	56271.0	14158.1	2813.6	201903.3	0.07	3025.7	4220.3	295775.9	0.05	4432.5	5627.1	389648.5	0.04
0.75	93218.9	23454.3	4660.9	334474.3	0.07	5012.4	6991.4	489984.3	0.05	7342.9	9321.9	645494.3	0.04
1.00	137510.4	34598.3	6875.5	493394.4	0.07	7394.0	10313.3	722792.4	0.05	10831.8	13751.0	952190.4	0.04
1.25	185295.8	46621.3	9264.8	664851.2	0.07	9963.5	13897.2	973966.1	0.05	14595.9	18529.6	1283081.0	0.04
1.50	234578.9	59021.2	11728.9	841681.5	0.07	12613.4	17593.4	1233011.6	0.05	18477.9	23457.9	1624341.8	0.04
1.75	284476.7	71575.7	14223.8	1020717.2	0.07	15296.5	21335.8	1495287.9	0.05	22408.4	28447.7	1969858.6	0.04
2.00	334622.3	84192.6	16731.1	1200642.1	0.07	17992.8	25096.7	1758866.9	0.05	26358.4	33462.2	2317091.7	0.04

*⁽¹⁾ İlgili kN ve kN/m değerlerinin kips ve k/in karşılıkları sırasıyla 4.4482 ve 175.1268'e bölünerek elde edilebilir.

*⁽²⁾ Buradaki W , etkin (efektif) ağırlık olup $W = W_i - W_s$ olarak verilmektedir.

Tablolarda yer alan akma sonrası rijitlik (K_2), karakteristik kuvvet (Q), akma öncesi rijitlik (K_1) ve akma dayanımı (F_y) değerleri, izolasyon sisteminin bütününe ait değerler olup eşdeğer özelliklere sahip 52 izolatörden oluşan izolasyon sisteminde izolatör başına düşen değerler söz konusu değerlerin 52'ye bölünmesi suretiyle elde edilmiştir. Modelleme aşamasında, 3D-BASIS-ME (Tsopelas ve diğ., 1994) akademik yazılımına veri olarak girilen akma dayanımı değerleri, Tsopelas ve diğ. (1994) çalışmasında da belirtildiği şekilde izolasyon sisteminin merkezinde 26 adet izolatöre ve her çeyrek daire için 6.5 adet izolatöre karşılık gelen değerlerin toplu olarak girilmesi suretiyle sisteme tanıtılmıştır.

Yukarıda sunulan denklemler yardımıyla Tablo 3.5 ve 3.6'daki karakteristik değerlerin nasıl elde edildiği örnek bir model yardımıyla şu şekilde açıklanabilir: Üstyapı parametreleri olan H/R ve h/R değerlerinin 0.5 ve 0.001 olduğu, izolasyon sistemi parametreleri olan T_0 ve Q/W parametrelerinin ise sırasıyla 2 s ve %5 olduğu sismik izolasyonlu sıvı depolama tank modeli örneği için Tablo 3.1'de sunulan toplam fiziksel ağırlık değeri $W_t = 109511.3$ kN ve Tablo 3.2'de sunulan çalkantı modu ağırlığı $W_s = 62559.1$ kN olarak okunmuştur. Bu değerlerden elde edilen efektif ağırlık $W = W_t - W_s = 46952.2$ kN olarak elde edilmiştir. Denklem (3.1) dikkate alınarak 2 s izolasyon periyotlu bir sistem için akma sonrası açılmalık frekans değeri ise $\omega_0 = 2\pi/T_0 = 2\pi/2 = 3.14$ rad/s olarak elde edilmiştir. Bu bağlamda akma sonrası rijitlik değeri K_2 , Denklem (3.2)'den $K_2 = \omega_0^2 \times W/g = 3.14^2 \times 46952.2/9.81 = 47253.6$ kN/m olarak hesaplanmıştır. İzolasyon sistemi sönüm seviyesinin bir göstergesi olan karakteristik kuvvet oranı Q/W , 0.05 olduğundan karakteristik kuvvet değeri $Q = W \times 0.05 = 46952.2 \times 0.05 = 2347.6$ kN olarak elde edilmiştir. K_1 değerini elde etmek için ise, Denklem (3.3)'den yararlanılmış ve $K_1 = Q/D_y + K_2$ formülü ile $K_1 = 2347.6/0.015 + 47253.6 = 203907.0$ kN/m olarak hesaplanmıştır. Denklem (3.4) kullanılarak $\alpha = K_2/K_1 = 47253.6/203907.0 = 0.23$ değeri elde edilmiştir. F_y ise Denklem (3.5) aracılığıyla $F_y = K_1 \times D_y$ bağıntısından $F_y = 203907.0 \times 0.015 = 3055.8$ kN olarak bulunmuştur. Tek bir izolatöre ait akma dayanımı değeri ise toplam değerlerin izolatör sayısına bölünmesiyle $f_y = F_y/52 = 3055.8/52 = 58.8$ kN olarak hesaplanmıştır. 3D-BASIS-ME (Tsopelas ve diğ., 1994) programında modellemede ise, 26 adet izolatörden oluşan izolatör grubuna ve her biri 6.5 adet izolatörden oluşan 4 adet izolatör grubuna ait $26 \times f_y = 1527.9$ kN ve $6.5 \times f_y = 382.0$ kN akma dayanımı değerleri sisteme dahil edilmiştir (EK-1).

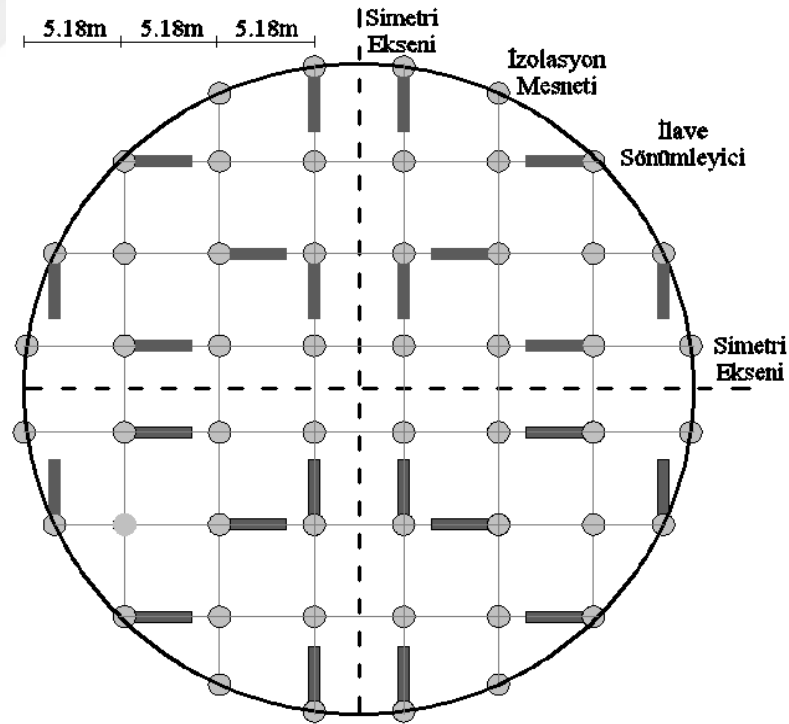
3.2.2. İlave Viskoz Sönümleyici Kullanılan İzolasyon Sistemi Modelleri

Parametrik çalışma kapsamında değerlendirilen ilave viskoz sönümleyiciler, elastomerik izolatörlere paralel olacak şekilde izolasyon sistemine dahil edilmiştir (Şekil 3.8). Bu kapsamda, 24 adet ilave viskoz sönümleyici Şekil 3.6’da sunulan elastomerik izolatörlerin aralarına Tsopelas ve diğ. (1994) çalışmasında sunulan yerleşim düzeni ile aynı olacak şekilde eklenmiştir (Şekil 3.8).

Doğrusal viskoz sönümleyicilerin kuvvet-hız-sönüm ilişkisi aşağıdaki gibi tanımlanır (Tsopelas ve diğ., 1994).

$$F_D = c \times V_D \quad (3.6)$$

Burada, F_D , V_D ve c terimleri sırasıyla, viskoz sönümleyicide oluşan kuvveti, bu sönümleyicideki relatif hızı ve tek bir doğrusal sönümleyici için ilave viskoz sönüm katsayısını temsil etmektedirler.



Şekil 3.8: Elastomerik izolatör ve ilave viskoz sönümleyicilerin dahil edildiği izolasyon sistemine ait yerleşim planı (Tsopelas ve diğ. (1994)’ten değiştirilerek alınmıştır).

Doğrusal viskoz sönümleyiciler için izolasyon sistemine ait toplam viskoz sönüm katsayısı C ($C = 24 \times c$), aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$C = 2 \times \zeta \times M \times \omega_0 \quad (3.7)$$

Bu formüldeki ζ , akma sonrası açısal frekansa (ω_0) bağlı olarak elde edilen ilave sönüm oranıdır. Efektif kütle M ise izolasyon sisteminin üzerinde bulunan toplam kütleden çalkantı moduna ait kütle çıkarılarak elde edilmiştir.

İlave viskoz sönümleyici kullanılan izolasyon sistemi modelleri incelenirken, 2 s ve 4 s izolasyon periyodu için, izolasyon sistemi sönüm seviyesinin bir göstergesi olan karakteristik kuvvet oranı Q/W 'nin %5 olduğu durumda, ilave viskoz sönümleyicilere ait sönüm oranı ζ 'nin %10, %20 ve %30 değerini aldığı koşullar altındaki yapısal parametreler elde edilmiştir. Denklem (3.7) ile elde edilen toplam ilave viskoz sönüm miktarları, h/R oranı 0.001 olan üstyapı modelleri için Tablo 3.7'de sunulurken, h/R oranının 0.004 olduğu durum için Tablo 3.8'de verilmiştir.

Tablo 3.7: h/R oranı 0.001 olan üstyapı modelleri için elde edilen toplam ilave viskoz sönüm miktarları.*

H/R	W [kN]	M [kN.s ² /m]	$T_0 = 2 \text{ s}, h/R = 0.001$				$T_0 = 4 \text{ s}, h/R = 0.001$			
			ω_0 [rad/s]	C [kN.s/m]			ω_0 [rad/s]	C [kN.s/m]		
				ζ =%10	ζ =%20	ζ =%30		ζ =%10	ζ =%20	ζ =%30
0.50	46952.2	4787.8	3.14	3008.3	6016.5	9024.8	1.57	1504.1	3008.3	4512.4
0.75	81681.5	8329.2	3.14	5233.4	10466.8	15700.2	1.57	2616.7	5233.4	7850.1
1.00	123754.4	12619.4	3.14	7929.0	15858.0	23787.1	1.57	3964.5	7929.0	11893.5
1.25	169321.2	17266.0	3.14	10848.5	21697.0	32545.6	1.57	5424.3	10848.5	16272.8
1.50	216385.7	22065.2	3.14	13864.0	27728.0	41591.9	1.57	6932.0	13864.0	20796.0
1.75	264064.9	26927.1	3.14	16918.8	33837.6	50756.4	1.57	8459.4	16918.8	25378.2
2.00	311991.9	31814.3	3.14	19989.5	39979.0	59968.6	1.57	9994.8	19989.5	29984.3

* İlgili kN, kN.s²/m ve kN.s/m değerlerinin kips, k.s²/in ve k.s/in karşılıkları sırasıyla 4.4482, 175.1268 ve 175.1268'e bölünerek elde edilebilmektedir.

Toplam ilave viskoz sönüm katsayısı C , sönümleyici sayısına (24) bölünerek tek bir sönümleyicinin viskoz sönüm katsayısı c bulunabilmektedir. Modelleme aşamasında ilave sönüm miktarları, Tsopelas ve diğ. (1994) çalışmasında da belirtildiği şekilde her çeyrek daireye karşılık gelen 6 adet sönümleyicinin toplu olarak girilmesi suretiyle 3D-BASIS-ME (Tsopelas ve diğ., 1994) akademik yazılımına veri olarak tanıtılmıştır.

Tablo 3.8: h/R oranı 0.004 olan üstyapı modelleri için elde edilen toplam ilave viskoz sönüm miktarları.*

H/R	W [kN]	M [kN.s ² /m]	ω_0 [rad/s]	$T_0 = 2 \text{ s}, h/R = 0.004$			ω_0 [rad/s]	$T_0 = 4 \text{ s}, h/R = 0.004$		
				C [kN.s/m]				C [kN.s/m]		
				ζ =%10	ζ =%20	ζ =%30		ζ =%10	ζ =%20	ζ =%30
0.50	56271.0	5738.0	3.14	3605.3	7210.6	10816.0	1.57	1802.7	3605.3	5408.0
0.75	93218.9	9505.7	3.14	5972.6	11945.2	17917.8	1.57	2986.3	5972.6	8958.9
1.00	137510.4	14022.2	3.14	8810.4	17620.8	26431.1	1.57	4405.2	8810.4	13215.6
1.25	185295.8	18894.9	3.14	11872.0	23744.1	35616.1	1.57	5936.0	11872.0	17808.0
1.50	234578.9	23920.4	3.14	15029.6	30059.3	45088.9	1.57	7514.8	15029.6	22544.4
1.75	284476.7	29008.5	3.14	18226.6	36453.2	54679.8	1.57	9113.3	18226.6	27339.9
2.00	334622.3	34122.0	3.14	21439.5	42878.9	64318.4	1.57	10719.7	21439.5	32159.2

* İlgili kN, kN.s²/m ve kN.s/m değerlerinin kips, k.s²/in ve k.s/in karşılıkları sırasıyla 4.4482, 175.1268 ve 175.1268'e bölünerek elde edilebilmektedir.

Yukarıda tarif edilen yöntemin açıklanabilmesi amacıyla üstyapı parametreleri olan H/R ve h/R değerlerinin 0.5 ve 0.001 olduğu, izolasyon sistemi parametreleri olan T_0 , Q/W ve ζ parametrelerinin ise sırasıyla 2 s, %5 ve %10 olduğu bir sismik izolasyonlu sıvı depolama tankı modeli örnek olarak ele alınmıştır: İlgili sistem için Tablo 3.1'de sunulan toplam fiziksel ağırlık değeri $W_t = 109511.3$ kN ve Tablo 3.2'de sunulan çalkantı modu ağırlığı $W_s = 62559.1$ kN olarak okunmuştur. Bu değerlerden elde edilen efektif ağırlık $W = W_t - W_s = 46952.2$ kN olmuştur. Efektif kütle değeri ise efektif ağırlığın yerçekimi ivmesine bölünmesi ile $M = W/g = 46952.2/9.80665 = 4787.8$ kN.s²/m olarak elde edilmiştir. Denklem (3.1)'den $T_0 = 2$ s izolasyon periyotlu bir sistem için akma sonrası açısal frekans değeri ise $\omega_0 = 2\pi/T_0 = 2\pi/2 = 3.14$ rad/s olarak elde edilmiştir. Dikkate alınan sönüm oranı değeri $\zeta = \%10 = 0.1$ olduğuna göre toplam ilave sönüm miktarı $C = 2\zeta \times M \times \omega_0 = 2 \times 0.1 \times 4787.8 \times 3.14 = 3008.3$ kN.s/m olarak elde edilmiştir. Tek bir ilave sönümleyiciye ait sönüm katsayısı ise toplam değer in sönümleyici sayısına bölünmesiyle $c = C/24 = 3008.3/24 = 125.35$ kN.s/m olarak elde edilmiştir. 3D-BASIS-ME (Tsopelas ve diğ., 1994) programında modellemeye ise, her biri 6 adet sönümleyiciden oluşan $6 \times c = 752.1$ kN.s/m değerinde sönüm katsayısına sahip 4 adet ilave sönümleyici grubu sisteme dahil edilmiştir (EK-2).

3.3. SİSMİK ANALİZLERDE KULLANILAN DEPREM KAYITLARI

Bölüm 3.1 ve 3.2'de karakteristik özellikleri sunulan üstyapı ve izolasyon sistemi modellerinin farklı kombinasyonlarından oluşan her bir sismik izolasyonlu sıvı depolama tankı modelinin

doğrusal olmayan analizi, tarihi ve sentetik deprem kayıtlarının etkisi altında incelenmiştir. Bu kayıtlara ait detaylı bilgi aşağıda sunulmuştur.

3.3.1. Tarihi Yakın Fay ve Uzak Fay Deprem Kayıtları

Zaman tanım alanında yapılan doğrusal olmayan sismik analizleri yürütebilmek için kullanılan tarihi deprem kayıtları Berkeley Üniversitesi'ne bağlı "Pacific Earthquake Engineering Research Center"ın yer hareketi veri tabanı olan "PEER Ground Motions Database"ten elde edilmiştir (PEER, 2015). Çalışmada, Loma Prieta (18.10.1989), Erzincan (13.03.1992), Northridge (17.01.1994) ve Chi-Chi (20.09.1999) depremleri sırasında alınmış 6 adet yakın fay ve 6 adet uzak fay özelliği sergileyen toplam 12 adet tarihi deprem kaydı kullanılmıştır. Tek doğrultuda uygulanan deprem kayıtlarına ilişkin detaylı bilgi Tablo 3.9'da sunulmuştur. Tabloda yer alan M_w , r , PGA ve PGV terimleri sırasıyla depremin moment büyüklüğünü, fay hattına en yakın uzaklığı, pik yer ivmesini ve pik yer hızlarını temsil etmektedir.

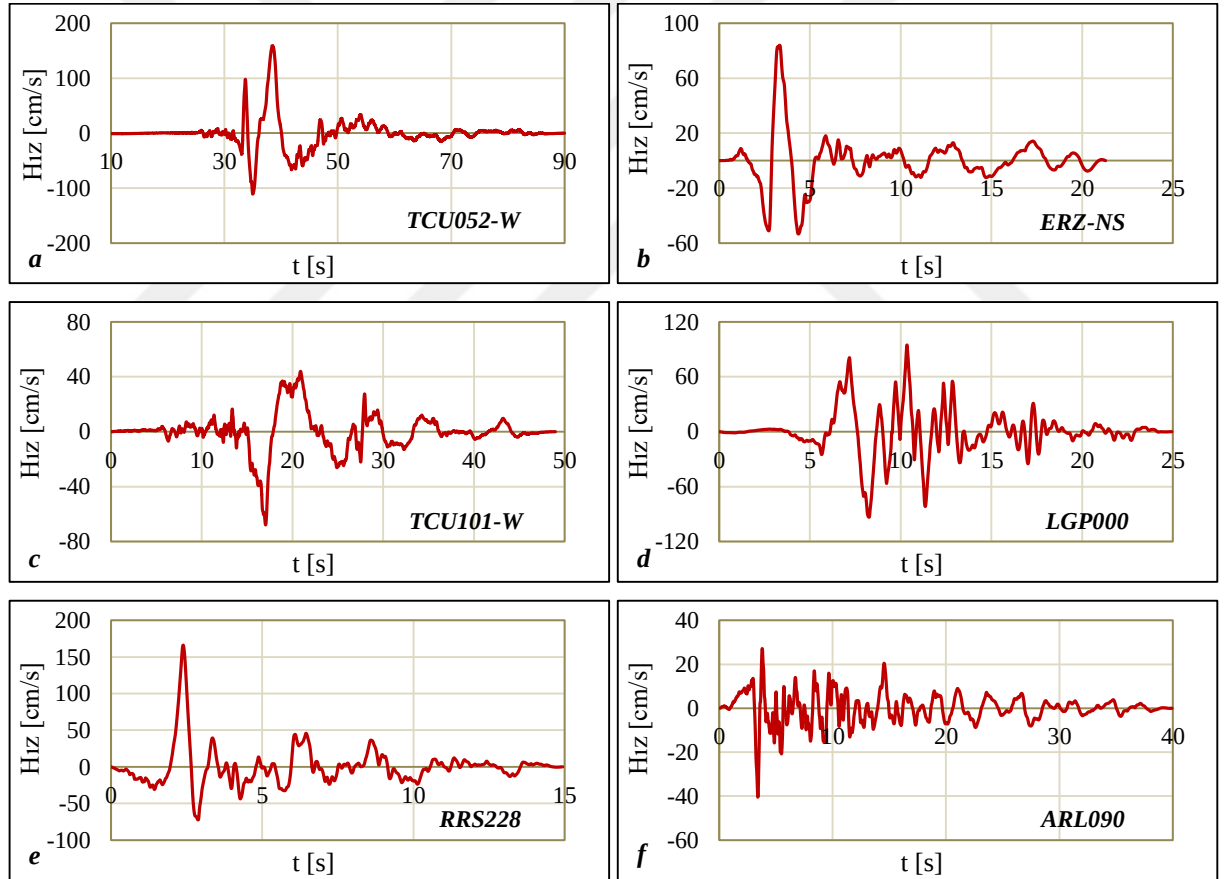
Tablo 3.9: Tarihi yakın fay ve uzak fay deprem kayıtlarına ait özellikler.

YER HAREKETİ TÜRÜ	DEPREM	M_w	YER HAREKETİ BİLEŞENİ	İSTASYON NO / ADI	r [km]	PGA [g]	PGV [cm/s]
Yakın fay	Chi-Chi	7.6	TCU052-W	- / TCU052	0.24	0.348	159.0
	Erzincan	6.9	ERZ-NS	95 / Erzincan	2.00	0.515	83.9
	Chi-Chi	7.6	TCU101-W	- / TCU101	2.94	0.202	67.9
	Loma Prieta	6.9	LGP000	16 / LGPC	6.10	0.563	94.8
	Northridge	6.7	RRS228	77 / Rinaldi Receiving Sta.	7.10	0.838	166.1
	Northridge	6.7	ARL090	24087 / Arleta-Nordhoff Fire Sta.	9.20	0.344	40.6
Uzak fay	Loma Prieta	6.9	BRN-090	13 / BRAN	10.30	0.501	44.6
	Northridge	6.7	RO3-090	90006 / Sun Valley-Roscoe Blvd.	12.30	0.443	38.2
	Loma Prieta	6.9	CAP000	47125 / Capitola	14.50	0.529	36.5
	Chi-Chi	7.6	CHY029-W	- / CHY029	15.28	0.277	30.3
	Loma Prieta	6.9	WAH-090	14 / WAHO	16.90	0.638	38.0
	Northridge	6.7	SSU-090	5108 / Santa Susana Ground	19.30	0.290	19.7

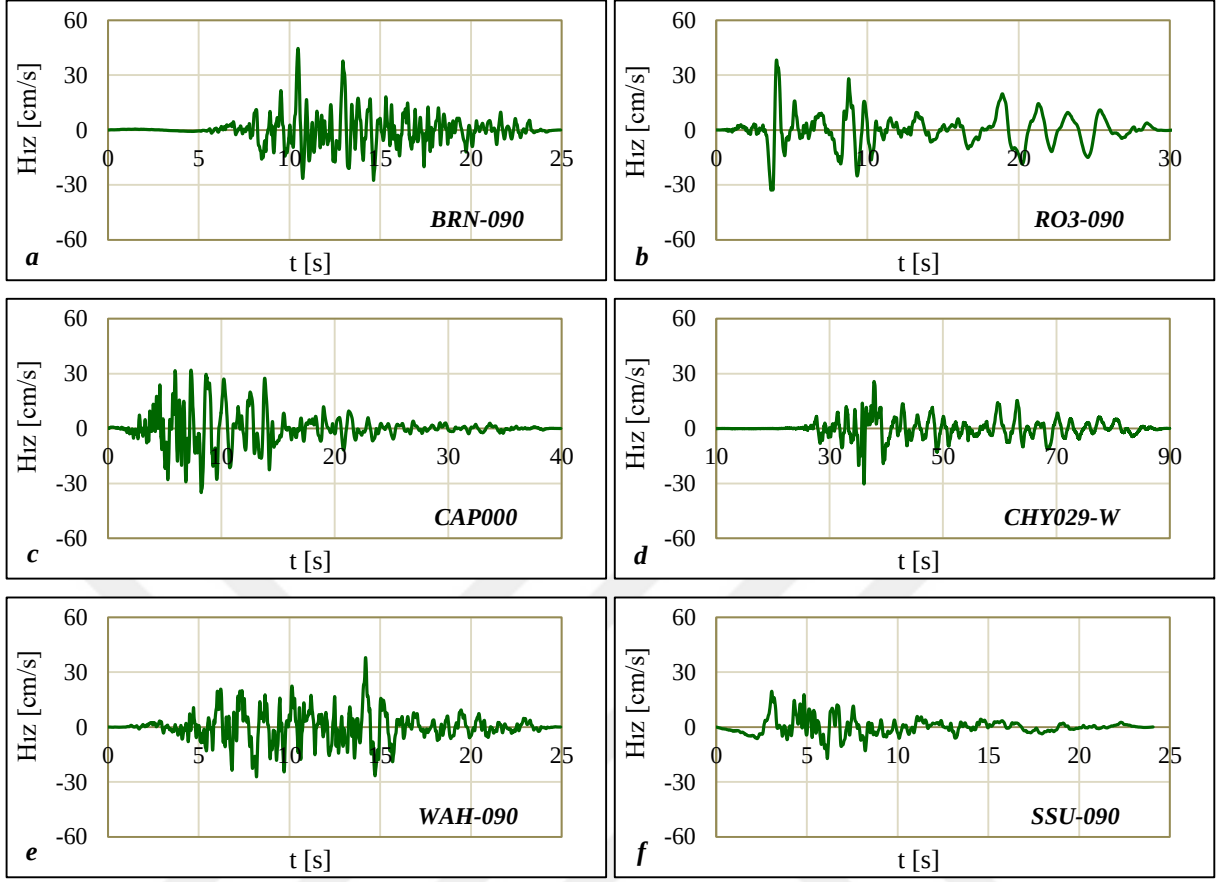
Tez kapsamında kullanılan yakın fay kayıtlarında faya olan mesafe (r) 10 km'den az olup (0.24 km ~ 9.20 km) pik yer hızları (PGV) 40.6 cm/s ile 166.1 cm/s arasında değişmektedir. Uzak fay kayıtlarının ise faya 10 km'den daha uzak mesafelerde (10.30 km ~ 19.30 km) alınmış ve pik yer hızlarının daha düşük (19.7 cm/s ~ 44.6 cm/s) olduğu görülmektedir (Tablo 3.9).

Somerville (1998), Nagarajaiah ve Ferrell (1999), Agrawal ve diğ. (2002), He ve Agrawal (2008), Saha ve diğ. (2012), Alhan ve Öncü-Davas (2016), Öncü-Davas ve diğ. (2018) gibi pek çok araştırmacının da çalışmalarında değindikleri gibi tipik yakın fay deprem kayıtları uzun periyotlu ve yüksek genlikli hız pulsarı içermektedirler. Çalışma kapsamında kullanılan yakın ve uzak fay deprem kayıtlarına ait hız-zaman grafikleri sırasıyla Şekil 3.9 ve 3.10'da sunulmuştur. Bu grafiklerden uzak fay kayıtlarının pik yer hızlarının nispeten daha küçük oldukları ve hız pulsarı içermedikleri görülebilmektedir.

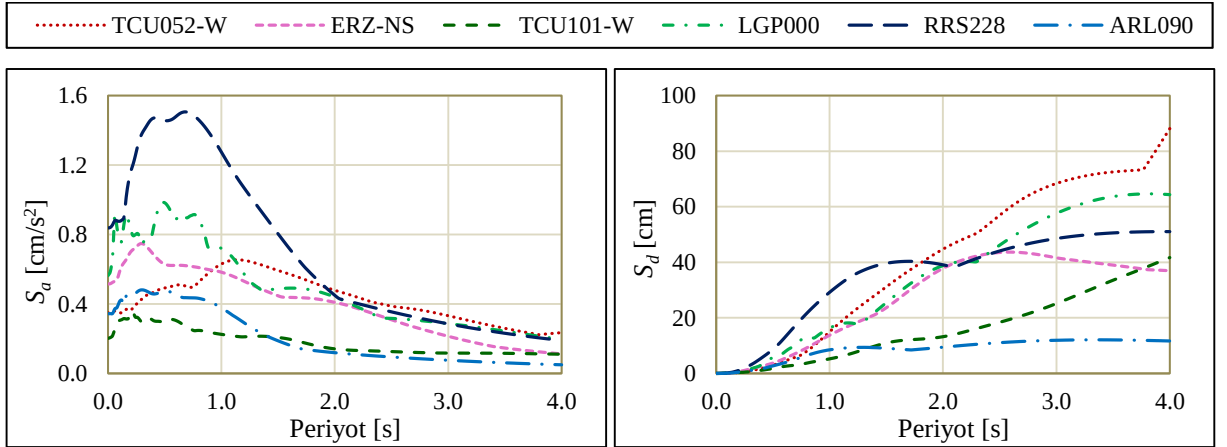
Ayrıca, viskoz sönüm oranının (ζ) %20 olduğu durum için tarihi yakın fay ve uzak fay deprem kayıtlarına ait spektral ivme ve spektral deplasman grafikleri Şekil 3.11 ve 3.12'de verilmiştir. Spektral deplasmanların yakın fay kayıtları için çok daha büyük değerler aldığı görülmektedir.



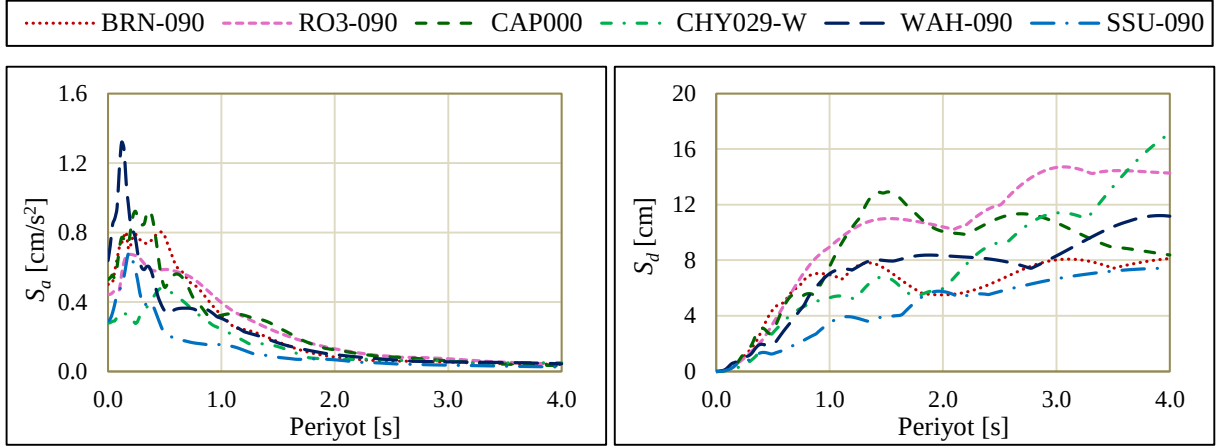
Şekil 3.9: Yakın fay (a) TCU052-W, (b) ERZ-NS, (c) TCU101-W, (d) LGP000, (e) RRS228 ve (f) ARL090 deprem kayıtlarına ait hız-zaman grafikleri.



Şekil 3.10: Uzak fay (a) BRN-090, (b) RO3-090, (c) CAP000, (d) CHY029-W, (e) WAH-090 ve (f) SSU-090 deprem kayıtlarına ait hız-zaman grafikleri.

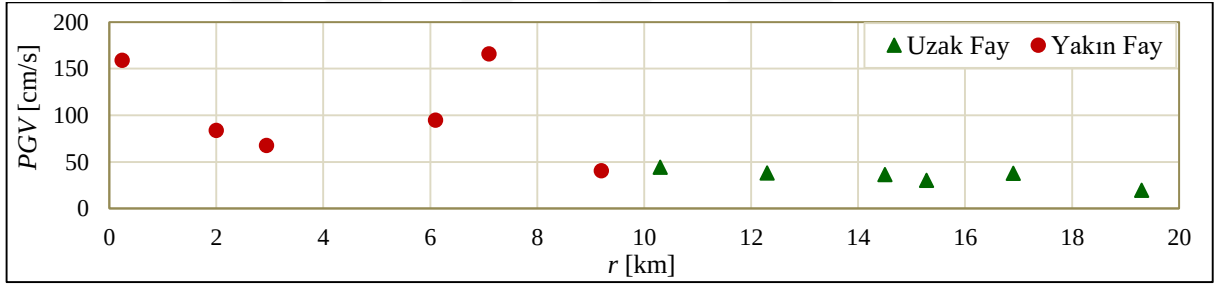


Şekil 3.11: Tarihi yakın fay deprem kayıtlarına ait %20 sönümlü spektral ivme ve spektral deplasman grafikleri.



Şekil 3.12: Tarihi uzak fay deprem kayıtlarına ait %20 sönümlü spektral ivme ve spektral deplasman grafikleri.

Tarihi deprem kayıtları için pik yer hızlarının (PGV) faya olan mesafe (r) ile değişimi ise Şekil 3.13'te gösterilmiştir.



Şekil 3.13: Tarihi yakın fay ve uzak fay deprem kayıtları için pik yer hızlarının (PGV) faya olan mesafe (r) ile değişimi.

Bu şekilden pik yer hızlarının faya olan mesafenin artması ile azalma eğiliminde olduğu görülmektedir.

3.3.2. Sentetik Yakın Fay Deprem Kayıtları

Sismik izolasyonlu yapıların yakın fay deprem kayıtları altındaki davranışları pek çok araştırmacı tarafından farklı yönlerden incelenmiştir (Alavi ve Krawinkler, 2000; Makris ve Chang, 2000; Alhan ve Gavin, 2005; Dicleli, 2006; Dicleli ve Buddaram, 2007; Ribakov, 2010; Öncü ve Alhan, 2012; Mazza ve Mazza, 2016; Mazza ve Labernarda, 2017). Ancak, tarihi yakın fay deprem kayıtlarının sayısının az olması ve bu kayıtların belirli parametrelere bağlı olarak sistematik bir şekilde değişmemesi sebebiyle, kapsamlı parametrik çalışmalar yapabilmek için sentetik olarak üretilmiş deprem kayıtlarının kullanılma ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Puls içeren yakın fay deprem kayıtlarını sentetik olarak üretebilmek amacıyla parçalı fonksiyonlardan

oluşan yani süreksiz yapıya sahip olan puls modelleri, Makris (1997), Alavi ve Krawinkler (1999), Makris ve Chang (2000) ile Menun ve Fu (2002) tarafından yapılan çalışmalarda önerilmiştir. Ancak parçalı fonksiyonların kullanımlarının pratik olmaması sebebiyle, tek bir fonksiyondan oluşan Agrawal ve He (2002), Mavroeidis ve Papageorgiou (2003) ile He ve Agrawal (2008) çalışmalarında önerilen modeller daha çok tercih edilmiş ve birçok kayıtlı yakın fay deprem kaydı üzerinde başarıyla kullanılarak onaylanmıştır (Dicleli ve Buddaram, 2007).

Özellikle Agrawal ve He (2002) puls modelinin taban izolasyonlu yapıların dinamik davranışlarının incelenmesine yönelik analizlerde kullanılmasının kabul edilebilir olduğu Wang ve diğ. (2002), Gazi ve Alhan (2013) ve Öncü-Davas ve Alhan (2013) tarafından ortaya konmuştur. Öncü-Davas ve diğ. (2018) ise, sismik izolasyonlu sıvı depolama tanklarını tarihi ve bu depremlerin eşdeğeri olacak şekilde Agrawal ve He (2002) puls modeline göre üretilmiş sentetik deprem kayıtları altında incelemişlerdir. Çalışmaları sonucunda, Agrawal ve He (2002) puls modeline göre üretilen sentetik kayıtlar ile elde edilen sismik yanıtların, gerçek depremlerin etkisi altında elde edilen yanıtları yakalamada oldukça başarılı olduğunu göstermişlerdir. Ayrıca, Agrawal ve He (2002) puls modelinin kullanılmış olduğu pek çok araştırma çalışması da bulunmaktadır (Alhan ve Sürmeli, 2015; Alhan ve diğ., 2016b; Alhan ve Öncü-Davas, 2016). Mevcut tez çalışmasında da, bu sebeplerle Agrawal ve He (2002) puls modeli kullanılmıştır.

Tez kapsamında üretilen sentetik deprem kayıtları, Somerville (1998) çalışmasında verilen bağıntıları Agrawal ve He (2002) puls modeli ile birlikte kullanma imkanı sağlayan, Dicleli ve Buddaram (2007) tarafından önerilen yöntem takip edilerek üretilmiştir. Bu yaklaşım ile yakın fay bölgesi içindeki herhangi bir fay mesafesi ve varsayılan bir deprem moment büyüklüğü için sentetik hız pulsı kayıtlarını üretmek mümkün hale gelmektedir.

Agrawal ve He (2002) puls modeline göre, üretilen sentetik deprem kayıtlarına ait zamana bağlı hız fonksiyonu Denklem (3.8)'de verilmiştir. Bu kayıtların zamana bağlı ivme fonksiyonu ise Denklem (3.8)'de sunulan hız fonksiyonunun türevi alınarak Denklem (3.9)'daki gibi elde edilir. Burada s , ζ_p , ω_p ve t sırasıyla, hız pulsının başlangıç genliğini, azalan sinüzoidin sönüm faktörünü, sinüzoidin frekansını ve saniye cinsinden zamanı temsil etmektedirler.

$$\dot{u}_g(t) = s \times e^{-\zeta_p \times \omega_p \times t} \times \sin \omega_p \times \sqrt{1 - \zeta_p^2} \times t \quad (3.8)$$

$$\ddot{u}_g(t) = s \times e^{-\zeta_p \times \omega_p \times t} \times \left[-\zeta_p \times \omega_p \times \sin \omega_p \times \sqrt{1 - \zeta_p^2} \times t + \omega_p \times \sqrt{1 - \zeta_p^2} \times \cos \omega_p \times \sqrt{1 - \zeta_p^2} \times t \right] \quad (3.9)$$

Dicleli ve Buddaram (2007) sinüzoidin frekansını (ω_p), pik yer hızının oluştuğu zamanı (t_p) ve başlangıç genliğini (s) aşağıdaki denklemlerle sunmuşlardır. Bu denklemlerde kullanılan V_p ve T_p terimleri sırasıyla, maksimum yer hareketi hızını ve puls periyodunu göstermektedir.

$$\omega_p = 2 \times \pi / \left(T_p \times \sqrt{1 - \zeta_p^2} \right) \quad (3.10)$$

$$t_p = \tan^{-1} \left(\sqrt{1 / \zeta_p^2 - 1} \right) / \left(\omega_p \times \sqrt{1 - \zeta_p^2} \right) \quad (3.11)$$

$$s = V_p / \left(e^{-\zeta_p \times \omega_p \times t_p} \times \sin \omega_p \times \sqrt{1 - \zeta_p^2} \times t_p \right) \quad (3.12)$$

Tez çalışması kapsamında üretilen sentetik deprem kayıtlarının yukarıda sunulan denklemler yardımıyla kullanılması için maksimum yer hareketi hızları (V_p) ve puls periyotları (T_p), Dicleli ve Buddaram'ın (2007) çalışmalarında izledikleri yöntem uygun olarak, Somerville (1998) çalışmasında ortaya konan aşağıdaki denklemler vasıtasıyla elde edilmiştir. Bu denklemlerde M_w ve r sırasıyla, depremin büyüklüğünü ve yapının faya olan en yakın mesafesini göstermektedir.

$$\ln(V_p) = -2.31 + 1.15 \times M_w - 0.5 \times \ln(r) \quad (3.13)$$

$$\log_{10}(T_p) = -2.5 + 0.425 \times M_w \quad (3.14)$$

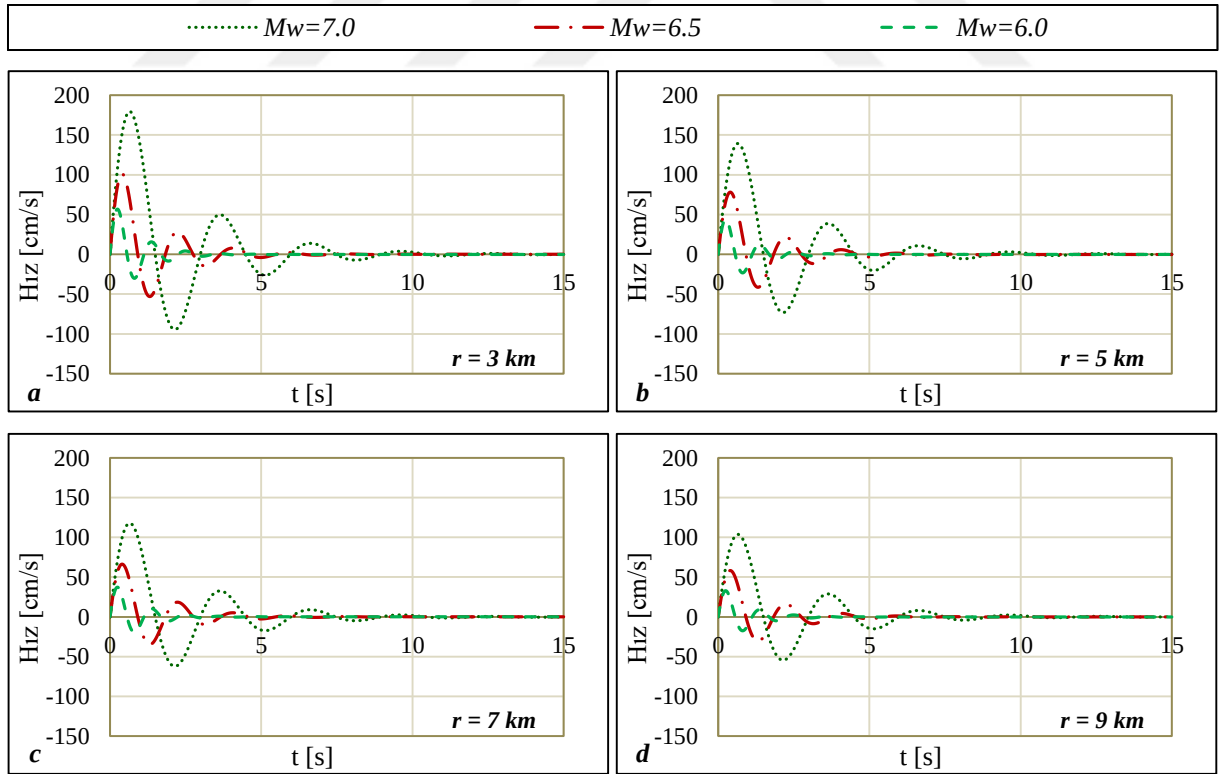
Mevcut tez kapsamında, sentetik yakın fay deprem kayıtları yukarıda belirtilen formüller kullanılarak moment büyüklüklerinin (M_w) 6.0, 6.5 ve 7.0 olması ve yapının fay hattına olan en yakın mesafesinin (r) 3, 5, 7 ve 9 km olarak kabul edilmesi durumlarının her biri için elde edilmiştir. Doğrusal olmayan zaman tanım alanında yapılan analizlerde kullanılmak üzere üretilen bu 12 deprem kaydına ait maksimum yer hareketi hızı (V_p) ve puls periyodu (T_p) değerleri, seçilen moment büyüklükleri (M_w) ve yapının fay hattına olan en yakın mesafeleri (r) için Tablo 3.10'da sunulmuştur.

Tablo 3.10: Sentetik hız pulslarının, seçilmiş moment büyüklüğü ve fay hattına olan mesafelere göre belirlenmiş maksimum genlik (V_p) ve puls periyodu (T_p) değerleri.

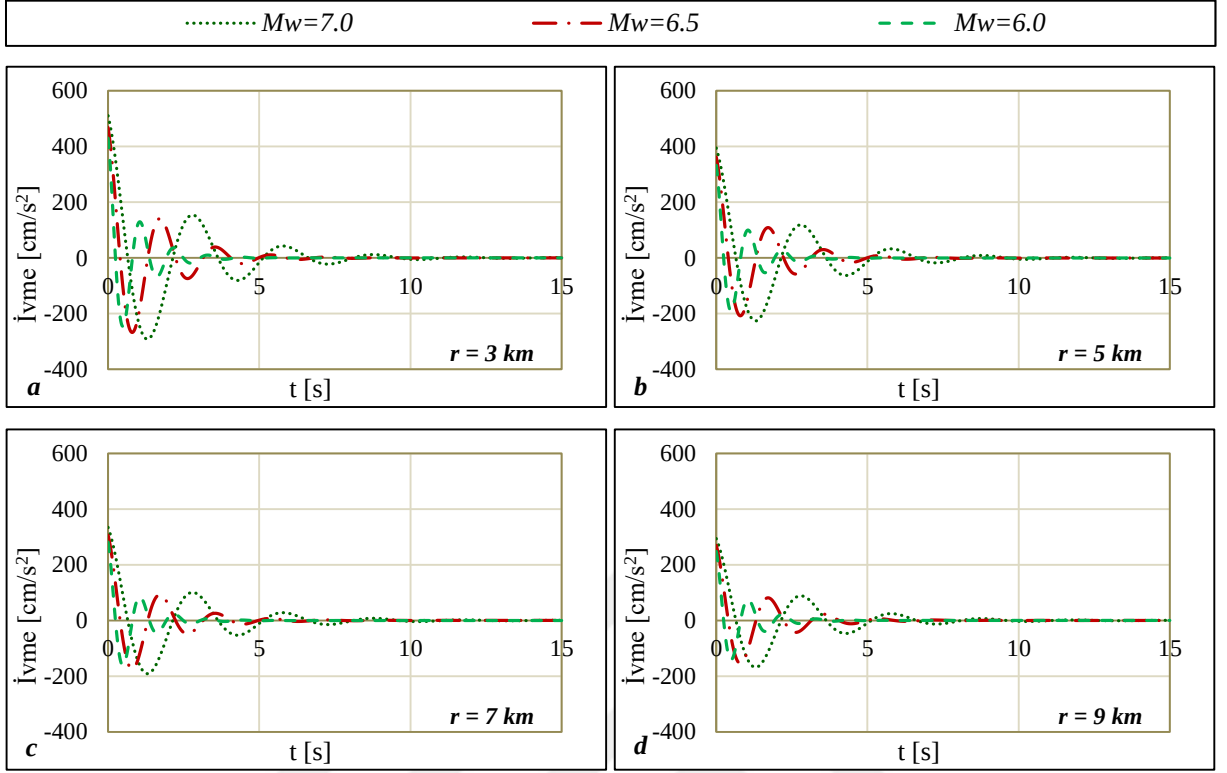
M_w	V_p [cm/s]				T_p [s]
	$r = 3$ km	$r = 5$ km	$r = 7$ km	$r = 9$ km	
6.0	56.866	44.048	37.227	32.831	1.122
6.5	101.058	78.279	66.158	58.346	1.830
7.0	179.593	139.112	117.571	103.688	2.985

Tablo 3.10'dan görüleceği gibi, daha büyük deprem büyüklüğü değerleri için puls periyotları daha uzundur. Puls genlikleri ise, hem daha büyük deprem büyüklükleri hem de faya olan mesafenin azalması durumları için daha büyük değerler almaktadırlar.

Agrawal ve He (2002) puls modeli kullanılarak üretilen sentetik deprem kayıtlarına ait hız-zaman ve ivme-zaman grafikleri sırasıyla, Şekil 3.14 ve 3.15'te sunulmuştur. Mevcut kayıtların üretilmesi aşamasında puls sönüm oranı (ζ_p) %20 olarak alınmıştır. Kayıtlar, 0.005 s aralıklarla toplam 15 s sürecek şekilde elde edilmiştir.



Şekil 3.14: $M_w = 7.0$, $M_w = 6.5$ ve $M_w = 6.0$ deprem büyüklükleri için (a) $r = 3$ km, (b) $r = 5$ km, (c) $r = 7$ km ve (d) $r = 9$ km'de elde edilen deprem kayıtlarına ait hız-zaman grafikleri.



Şekil 3.15: $M_w = 7.0$, $M_w = 6.5$ ve $M_w = 6.0$ deprem büyüklükleri için (a) $r = 3$ km, (b) $r = 5$ km, (c) $r = 7$ km ve (d) $r = 9$ km’de elde edilen deprem kayıtlarına ait ivme-zaman grafikleri.

Bu kayıtlar, 3D-BASIS-ME (Tsopelas ve diğ., 1994) programı vasıtasıyla tüm yapısal modellere etki ettirilmiş ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler gerçekleştirilmiştir.

4. BULGULAR

Özellikleri Malzeme ve Yöntem başlığı altında Bölüm 3.1 ve 3.2’de detaylı olarak anlatılan ilave viskoz sönümleyici kullanılmayan ve ilave viskoz sönümleyici kullanılan taban izolasyonlu sıvı depolama tankları, (i) sıvı depolama tankı (üstyapı) geometrisine ait farklı parametreler (sıvı yüksekliğinin tank yarıçapına oranı, $H/R = 0.50, 0.75, 1.00, 1.25, 1.50, 1.75$ ve 2.00 ile tank kalınlığının tank yarıçapına oranı, $h/R = 0.001$ ve 0.004), (ii) tankın üzerinde yer aldığı ilave viskoz sönümleyici kullanılmayan izolasyon sistemine ait farklı parametreler (izolasyon periyodu, $T_0 = 2.0$ s ve 4.0 s ile karakteristik kuvvet oranı, $Q/W = \%5, \%7.5$ ve $\%10$) ve (iii) ilave viskoz sönümleyici kullanılan izolasyon sistemine ait farklı parametreler (izolasyon periyodu, $T_0 = 2.0$ s ve 4.0 s, karakteristik kuvvet oranı, $Q/W = \%5$ ile ilave viskoz sönümleyicilere ait sönüm oranı, $\zeta = \%10, \%20$ ve $\%30$) için nümerik olarak modellenmiştir. Modellerin her biri Bölüm 3.3’te özellikleri anlatılan 6 adet tarihi yakın fay, 6 adet tarihi uzak fay ve 12 adet yakın fay özelliği sergileyen sentetik deprem kaydına maruz bırakılmıştır. 3D-BASIS-ME (Tsopelas ve diğ., 1994) akademik yazılımı vasıtasıyla gerçekleştirilen doğrusal olmayan zaman tanım alanı analizleri sonucunda taban deplasmanı, çalkantı deplasmanı, izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti (izolasyon sistemi kesme kuvveti yanıtlarının izolasyon sistemi üzerindeki toplam yapı ağırlığına oranı), sıvı-tank normalize kesme kuvveti (sıvı-tank kesme kuvveti yanıtlarının izolasyon sistemi üzerindeki toplam yapı ağırlığına oranı) ve çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti (çalkantı kaynaklı kesme kuvveti yanıtlarının izolasyon sistemi üzerindeki toplam yapı ağırlığına oranı) yanıtları elde edilmiş, karşılaştırmalı grafikler aracılığıyla pik değerler açısından değerlendirilmiştir. Çalışmada ele alınan her bir parametrenin (tank geometrisi, izolasyon sistemi karakteristik özellikleri, deprem büyüklüğü ve fay hattına olan mesafe) etkileri ayrı ayrı irdelenmiştir. Tarihi deprem kayıtları altındaki dinamik yanıtlar için bunların ortalamalarını gösteren grafikler ayrıca karşılaştırmalı olarak da sunulmuş ve yorumlanmıştır. Son kısımda ise, ilave sönümleyici kullanılmayan taban izolasyonlu sıvı depolama tanklarının içsel sönümünü ifade eden farklı karakteristik kuvvet oranları için elde edilen sismik yanıtlar, ilave sönümleyici kullanılan durumda ($\%5$ karakteristik kuvvet oranına ek olarak) farklı ilave sönüm oranları için elde edilen sismik yanıtlarla karşılaştırılmıştır.

4.1. İLAVE VİSKOZ SÖNÜMLEYİCİ KULLANILMAYAN TABAN İZOLASYONLU SIVI DEPOLAMA TANKLARININ SİSMİK ANALİZ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Özellikleri, Malzeme ve Yöntem başlığı altında Bölüm 3.1 ve 3.2.1’de detaylı olarak anlatılan ilave viskoz sönümleyici kullanılmayan taban izolasyonlu sıvı depolama tankı modelleri, yakın fay özelliği gösteren TCU052-W, TCU101-W, ERZ-NS, LGP000, RRS228 ve ARL090 tarihi deprem kayıtları, uzak fay özelliği gösteren CHY029-W, BRN-090, CAP000, WAH-090, RO3-090 ve SSU-090 tarihi deprem kayıtları (Bakınız Bölüm 3.3.1) ile moment büyüklüklerinin (M_w) 6.0, 6.5 ve 7.0 olması ve yapının fay hattına olan en yakın mesafesinin (r) 3, 5, 7 ve 9 km olarak kabul edilmesi durumlarının her biri için elde edilen sentetik deprem kayıtlarına (Bakınız Bölüm 3.3.2) maruz bırakılmıştır. Doğrusal olmayan sismik analizler sonucunda elde edilen yapısal yanıtlar aşağıdaki bölümlerde sunulmuş ve irdelenmiştir.

4.1.1. Tarihi Yakın Fay Deprem Kayıtları Altında Sismik Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

İlave viskoz sönümleyici kullanılmayan taban izolasyonlu sıvı depolama tankı modellerinin yakın fay özelliği sergileyen TCU052-W, TCU101-W, ERZ-NS, LGP000, RRS228 ve ARL090 deprem kayıtları altında gerçekleştirilen doğrusal olmayan sismik analizleri sonucunda elde edilen pik taban deplasmanı, pik çalkantı deplasmanı, pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti, pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti ve pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtları ((a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, (b) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.004$, (c) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$ ve (d) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.004$ özelliklerine sahip sistemler için) sırasıyla Şekil 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 ve 4.5’te verilmiştir. Ayrıca, bu yanıtların yorumlanmasında kolaylık sağlaması açısından, $T_0 = 2$ s izolasyon periyoduna sahip sistem yanıtlarının $T_0 = 4$ s izolasyon periyodu için elde edilenlere oranlarının sunulduğu grafikler, farklı Q/W oranları için elde edilen yanıtların birbirlerine göre oranlarının sunulduğu grafikler ve $h/R = 0.001$ tank esnekliği için elde edilen yanıtların $h/R = 0.004$ tank esnekliği için elde edilenlere oranının alındığı grafikler EK-3’te sunulmuştur. Mevcut şekillerde sunulan deprem kayıtları, öncelikle moment büyüklüğünün azalması ve ardından her bir moment büyüklüğü değerinde fay hattına olan mesafenin artmasına göre sıralanmıştır. Bu kapsamda, parantez içerisinde verilen sayılar her bir deprem kaydı için sırasıyla moment büyüklüğü (M_w) ve faya en yakın mesafeyi (r) göstermektedir.

Pik taban deplasmanı yanıtlarının fay hattına olan mesafenin artması ve deprem kaydına ait moment büyüklüğü değerinin azalması ile genel olarak azalma eğiliminde olduğu ancak deprem karakteristik özellikleri etkisiyle farklılıklar içerebildiği görülmüştür (Şekil 4.1). Bu farklılıklara örnek olarak $T_0 = 2$ s ve $h/R = 0.001$ durumunda $M_w = 7.6$ ve $r = 2.94$ km özelliklerine sahip TCU101-W deprem kaydı için elde edilen pik taban deplasmanı yanıtlarının $M_w = 6.7$ ve $r = 7.10$ km özelliklerine sahip RRS228 deprem kaydına ait pik taban deplasmanı yanıtlarından daha küçük değerler alması verilebilir (Şekil 4.1 (a)). Deprem kaydı moment büyüklüğü azaldıkça ve her moment büyüklüğü değeri için fay hattına olan mesafe arttıkça pik çalkantı deplasmanı yanıtlarının belirgin şekilde azalma eğiliminde olduğu ancak bazı nadir durumlarda deprem karakteristik özellikleri etkisiyle bir miktar artabildiği görülmüştür (Şekil 4.2). Örneğin $T_0 = 4$ s ve $h/R = 0.004$ durumunda $M_w = 6.9$ ve $r = 2.00$ km özelliklerine sahip ERZ-NS deprem kaydı için elde edilen pik çalkantı deplasmanı yanıtları $M_w = 6.9$ ve $r = 6.10$ km özelliklerine sahip LGP000 deprem kaydına ait pik çalkantı deplasmanı yanıtlarından daha küçük değerler almıştır (Şekil 4.2 (d)). Pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti ve pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtlarının ise deprem kaydı moment büyüklüğü azaldıkça ve her moment büyüklüğü değeri için fay hattına olan mesafe arttıkça azalma eğiliminde olduğu ancak bazı durumlarda deprem karakteristik özelliklerine bağlı olarak artabildiği görülmüştür (Şekil 4.3 ve 4.4). Örneğin $T_0 = 2$ s ve $h/R = 0.001$ durumunda $M_w = 7.6$ ve $r = 2.94$ km özelliklerine sahip TCU101-W deprem kaydı için elde edilen normalize pik izolasyon sistemi kesme kuvveti yanıtları $M_w = 6.9$ ve $r = 6.10$ km özelliklerine sahip LGP000 deprem kaydına ait olanlardan daha küçük değerler almıştır (Şekil 4.3 (a)). Pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtlarının deprem kaydı moment büyüklüğü azaldıkça ve her moment büyüklüğü değeri için fay hattına olan mesafe arttıkça azalma eğiliminde olduğu görülmüştür (Şekil 4.5). Depremin karakteristik özelliğine bağlı olarak bu genel eğilimin dışına çıktığı nadir durumlar da vardır. Örneğin $T_0 = 4$ s ve $h/R = 0.001$ durumunda $M_w = 6.9$ ve $r = 2.00$ km özelliklerine sahip ERZ-NS deprem kaydı için elde edilen pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtları $M_w = 6.9$ ve $r = 6.10$ km özelliklerine sahip LGP000 deprem kaydına ait pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtlarından daha küçük değerler almıştır (Şekil 4.5 (c)).

Şekil 4.1'den görüleceği üzere $T_0 = 2$ s izolasyon periyodu için (Şekil 4.1 (a ve b)) pik taban deplasmanı yanıtları genel bir eğilim olarak $T_0 = 4$ s izolasyon periyoduna sahip olan sistemlerden (Şekil 4.1 (c ve d)) daha küçük değerler almıştır. Ancak bazı deprem kayıtları

etkisi altında genel durumun tersinin gözlemlendiği ve/veya çok önemli değişimlerin olmadığı görülmüştür. Örneğin RRS228 deprem kaydı etkisi altında $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.004$, $H/R = 2.00$ ve $Q/W = \%10$ durumunda pik taban deplasmanı yanıtı 45.92 cm değerindeyken, $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.004$, $H/R = 2.00$ ve $Q/W = \%10$ durumu için $\%16.32$ azalarak 38.43 cm değerine düşmüştür (Şekil 4.1 (b ve d)). İzolasyon periyodundaki artışın pik çalkantı deplasmanı yanıtlarını genel bir eğilim olarak azalttığı, ancak bazı durumlarda bu genel eğilimin dışına çıkıldığı Şekil 4.2'den görülmektedir. Artan izolasyon periyodunun çalkantı deplasmanında artışa sebep olduğu durumlar daha ziyade yüksek H/R oranları için geçerlidir. Örneğin TCU101-W deprem kaydı için $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, $H/R = 0.50$ ve $Q/W = \%5$ durumunda pik çalkantı deplasmanı yanıtı 185.67 cm değerindeyken, aynı koşullarda genel eğilime uygun olarak $T_0 = 4$ s için $\%42.49$ azalarak 106.78 cm değerine düşmüştür. Öte yandan, LGP000 deprem kaydı etkisi altında $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, $H/R = 2.00$ ve $Q/W = \%5$ durumunda 95.05 cm değerindeyken, aynı koşullarda $T_0 = 4$ s için $\%26.80$ artarak 120.52 cm değerine çıkmıştır (Şekil 4.2 (a ve c)). Pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti ve pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtlarının tümü Şekil 4.3 ve 4.4'ten görüleceği üzere $T_0 = 2$ s izolasyon periyodu için $T_0 = 4$ s izolasyon periyoduna sahip olma durumundan daha büyük değerler almıştır. Örneğin ERZ-NS deprem kaydı için $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.004$, $H/R = 2.00$ ve $Q/W = \%5$ durumunda pik izolasyon sistemi kesme kuvveti değeri izolasyon sistemi üzerindeki toplam yapı ağırlığının $\%46.12$ 'si kadarken, aynı koşullarda $T_0 = 4$ s için $\%70.66$ azalarak $\%13.53$ 'üne düşmüştür (Şekil 4.3 (b ve d)). Pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtlarının ise pik çalkantı deplasmanı yanıtları ile benzer bir eğilim göstererek genel olarak $T_0 = 2$ s izolasyon periyodu için $T_0 = 4$ s izolasyon periyoduna sahip olma durumundan daha büyük değerler aldığı, ancak bu durumun çok büyük farklılıklar içermeyen istisnaları olduğu görülmüştür. Örneğin, TCU101-W deprem kaydı için $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, $H/R = 0.50$ ve $Q/W = \%5$ durumunda pik çalkantı kaynaklı kesme kuvveti yanıtı izolasyon sistemi üzerindeki toplam yapı ağırlığının $\%7.75$ 'i kadarken, $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, $H/R = 0.50$ ve $Q/W = \%5$ durumunda $\%42.48$ azalarak $\%4.46$ 'sına düşmüştür (Şekil 4.5 (a ve c)). Ayrıntılı grafikler için EK-3'e bakınız.

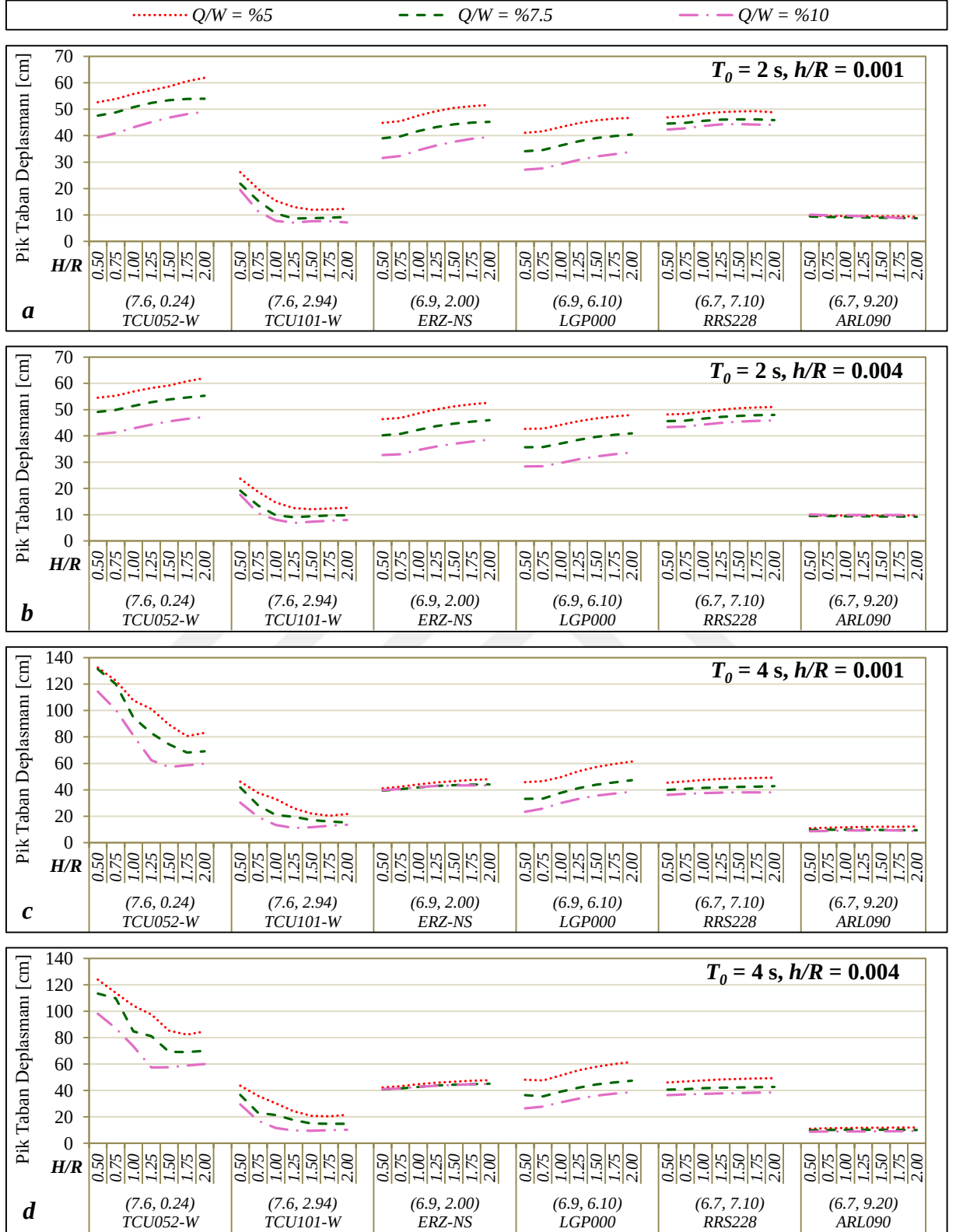
Yakın fay tarihi deprem kayıtları altında pik taban deplasmanı yanıtları genel olarak Q/W oranının $\%5$ olduğu durumda en yüksek değerini alma ve Q/W oranının $\%10$ olduğu durumda en düşük değerini alma eğilimindedir (Şekil 4.1). Bu genel eğilimden farklı olarak, bazı durumlarda Q/W oranındaki artış taban deplasmanını çok değiştirmemiş veya bir miktar arttırmıştır. Pik çalkantı deplasmanı yanıtları, Q/W oranının artmasıyla çoğu durumda

azalmaktadır (Şekil 4.2). Ancak, artan Q/W ile pik çalkantı deplasmanlarının değişmediği, hatta arttığı durumlar da gözlenmiştir: Örneğin, $T_0 = 4$ s izolasyon periyoduna sahip sistemde $h/R = 0.004$ ve $H/R = 0.5$ durumu için (Şekil 4.2 (d)) TCU101-W deprem kaydı etkisi altında Q/W oranının %5 olduğu durumda pik çalkantı deplasmanı yanıtı 114.30 cm değerini alırken Q/W oranının %7.5 ve %10 olduğu durumlarda %5 olduğu duruma göre sırasıyla %15.09 ve %21.18 oranında artışlar göstererek 131.55 cm ve 138.51 cm değerlerini almışlardır. Pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti ve pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtlarının Q/W oranının artmasıyla farklı deprem kayıtları için azalabildiği veya artabildiği görülmüş olup genel bir eğilim belirlenememiştir (Şekil 4.3 ve 4.4). Şekil 4.5'ten de görülebileceği üzere yakın fay tarihi deprem kayıtları altında pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtları genel olarak Q/W oranının artışı ile azalma eğilimindedir. Ancak TCU101-W, RRS228 ve ARL090 deprem kaydı altında bazı H/R oranlarında bu eğilimin tersi gözlemlenmiştir. Ayrıntılı grafikler için EK-3'e bakınız.

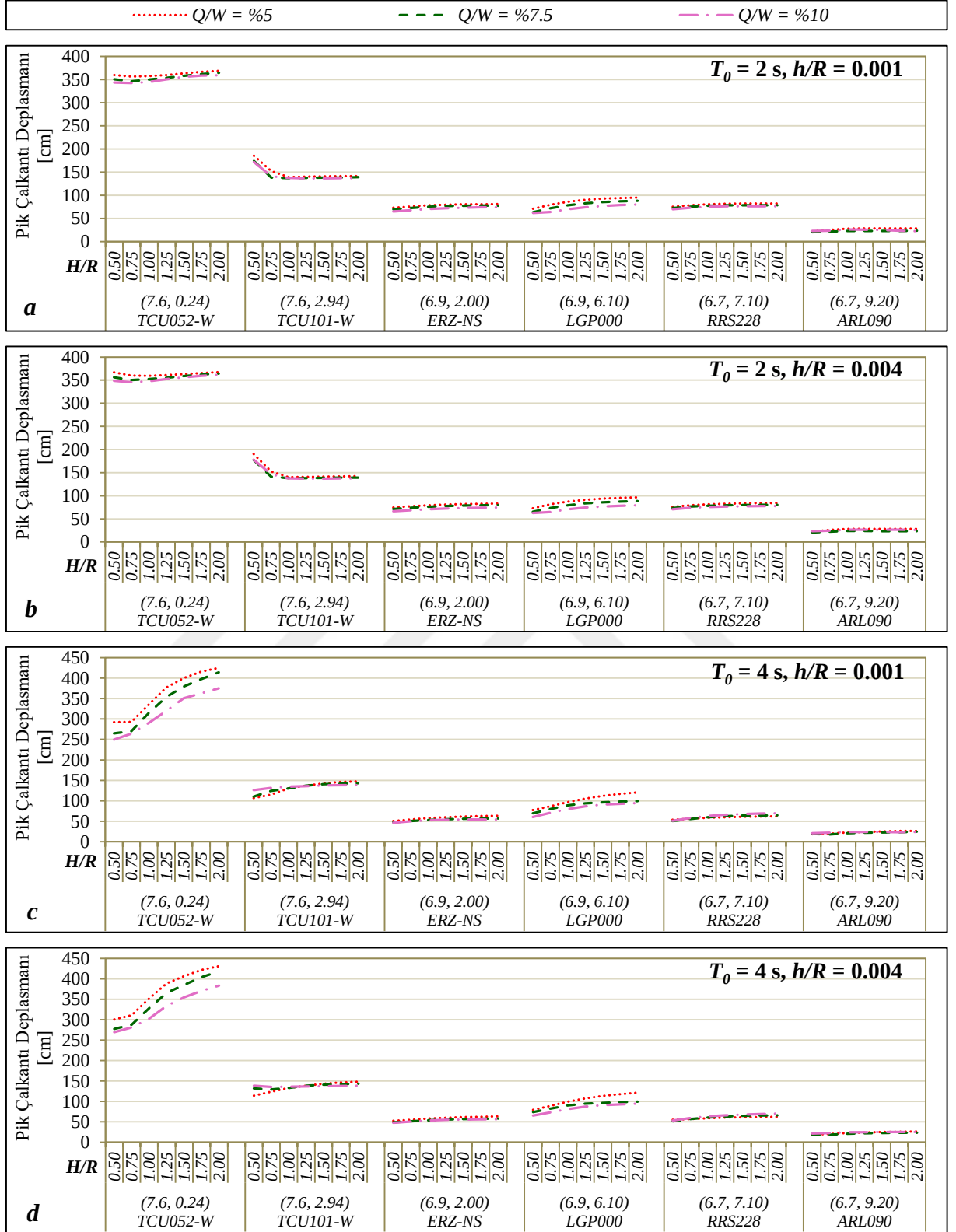
H/R oranındaki artışın pik taban deplasmanı yanıtlarını depremin karakteristik özelliklerine bağlı olarak arttırabildiği gibi azaltabildiği de görülmektedir (Şekil 4.1). Genel bir eğilim söz konusu olmamakla birlikte H/R oranının taban deplasmanı üzerinde önemli etkilerinin olabileceği anlaşılmaktadır. Örneğin TCU052-W deprem kaydı için $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, $Q/W = \%5$ ve $H/R = 0.50$ durumunda pik taban deplasmanı yanıtı 132.54 cm değerindeyken, $H/R = 2.00$ değeri için %37.35 azalarak 83.03 cm değerine düşmüştür (Şekil 4.1 (c)). Buna karşılık LGP000 deprem kaydı etkisi altında $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, $Q/W = \%5$ ve $H/R = 0.50$ durumunda pik taban deplasmanı yanıtı 45.72 cm değerindeyken, $H/R = 2.00$ değeri için %34.17 artarak 61.34 cm değerine çıkmıştır (Şekil 4.1 (c)). H/R oranındaki artışın pik çalkantı deplasmanı yanıtlarını ise genel olarak arttırdığı görülmektedir (Şekil 4.2). Ancak bazı depremler için bu durumun tersinin gözlemlendiği haller mevcuttur. Örneğin TCU052-W deprem kaydı için $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, $Q/W = \%5$ ve $H/R = 0.50$ durumunda pik çalkantı deplasmanı yanıtı 292.35 cm değerindeyken, $H/R = 2.00$ değeri için %45.44 artarak 425.20 cm değerine çıkmıştır (Şekil 4.2 (c)). Buna karşılık TCU101-W deprem kaydı etkisi altında $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.004$, $Q/W = \%5$ ve $H/R = 0.50$ olma durumunda pik çalkantı deplasmanı yanıtı 190.09 cm değerindeyken, $H/R = 2.00$ değeri için %25.04 azalarak 142.49 cm değerine düşmüştür (Şekil 4.2 (b)). H/R oranındaki artışın pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti yanıtlarını çok nadir durumlar hariç olmak üzere genelde arttırdığı pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtlarını ise istisnasız arttırdığı görülmektedir (Şekil 4.3 ve 4.4). Örneğin TCU052-W deprem kaydı için $T_0 = 2$ s, h/R

= 0.001, $Q/W = \%5$ ve $H/R = 0.50$ durumunda pik izolasyon sistemi kesme kuvveti yanıtı izolasyon sistemi üzerindeki toplam yapı ağırlığının $\%24.89$ 'u kadarken, $H/R = 2.00$ için $\%111.89$ artarak $\%52.73$ 'üne çıkmıştır (Şekil 4.3 (a)). Pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtlarının, depremin karakteristik özelliklerine bağlı olmakla birlikte genellikle H/R oranındaki artışa paralel olarak önce bir miktar arttığı ve sonra H/R 'deki devam eden artışla azaldığı görülmektedir (Şekil 4.5). Örneğin TCU052-W deprem kaydı için $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, $Q/W = \%10$ ve $H/R = 0.50$ durumunda pik çalkantı kaynaklı kesme kuvveti yanıtı izolasyon sistemi üzerindeki toplam yapı ağırlığının $\%14.34$ 'ü kadarken, $H/R = 0.75$ için $\%1.96$ 'lık az bir artışla $\%14.62$ değerine çıkmıştır ve ardından azalarak $H/R = 2.00$ için toplam yapı ağırlığının $\%7.81$ 'i değerine düşmüştür (Şekil 4.5 (a)). Bazı durumlarda ise H/R oranındaki artış ile yanıtın monotonik olarak azaldığı da görülmektedir. Örneğin TCU101-W deprem kaydı için $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, $Q/W = \%5$ ve $H/R = 0.50$ durumunda pik çalkantı kaynaklı kesme kuvveti yanıtı izolasyon sistemi üzerindeki toplam yapı ağırlığının $\%7.75$ 'i değerindeyken, gitgide azalarak $H/R = 2.00$ için ($\%60.39$ azalarak) $\%3.07$ değerine inmiştir (Şekil 4.5 (a)).

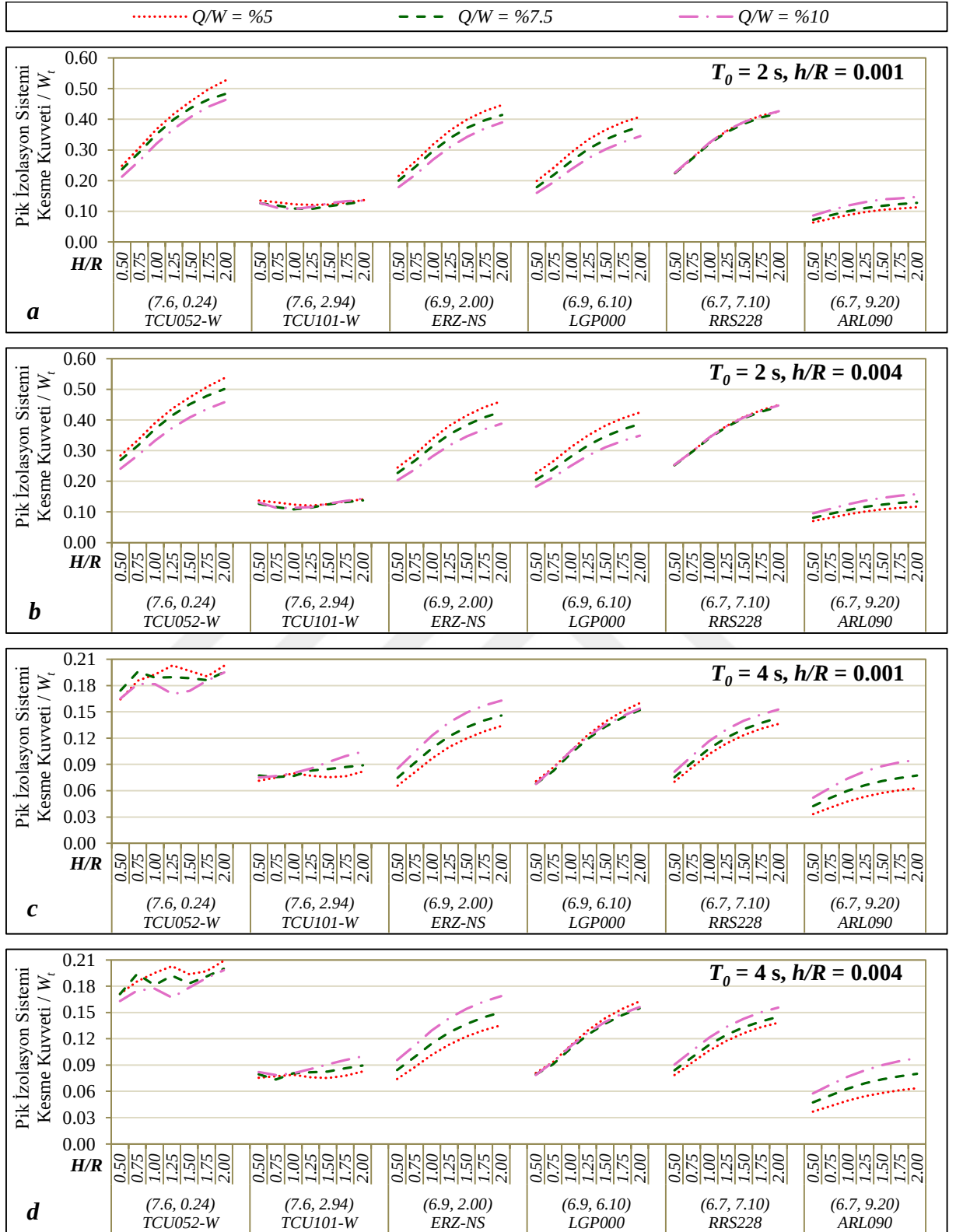
h/R oranının 0.001 veya 0.004 olma durumunun pik taban deplasmanı yanıtlarını genel olarak az miktarda etkilediği, deprem karakteristiklerine bağlı olarak taban deplasmanında h/R değişimi ile artış veya azalışların olabildiği görülmüştür (Şekil 4.1 (a ve b) ve Şekil 4.1 (c ve d)). Bu değişimler genellikle $\%5\sim10$ civarında olmakla birlikte nadir durumlarda ciddi etkiler de görülebilmektedir. Örneğin TCU101-W deprem kaydı için $T_0 = 4$ s, $Q/W = \%10$, $H/R = 2.00$ ve $h/R = 0.001$ durumunda pik taban deplasmanı yanıtı 13.47 cm değerindeyken, $h/R = 0.004$ değeri için ekstrem olarak yaklaşık $\%24.17$ 'lik bir azalış göstererek 10.21 cm değerine düşmüştür. LGP000 deprem kaydı etkisi altında ise $T_0 = 4$ s, $Q/W = \%10$, $H/R = 0.50$ ve $h/R = 0.001$ durumunda pik taban deplasmanı yanıtı 23.31 cm değerindeyken, $h/R = 0.004$ değeri için $\%13.34$ artışla 26.42 cm değerine çıkmıştır (Şekil 4.1 (c ve d)). Pik çalkantı deplasmanı yanıtları, h/R oranının 0.001 veya 0.004 olma durumundan az miktarda etkilenmekte olup (TCU101-W deprem kaydı etkisi altında $T_0 = 4$ s, $H/R = 0.50$ ve $Q/W = \%7.5$ durumunda h/R oranının artışı ile $\%19.41$ oranında azalması gibi az sayıda istisnai durum haricinde farklılıklar genellikle $\%3\sim5$ civarındadır) çoğu durum için $h/R = 0.001$ olan sistemlerde $h/R = 0.004$ olan sistemlere nazaran daha küçük değerler almıştır (Şekil 4.2). Örneğin LGP000 deprem kaydı için $T_0 = 4$ s, $Q/W = \%10$, $H/R = 0.50$ ve $h/R = 0.001$ durumunda pik çalkantı deplasmanı yanıtı 60.55 cm değerindeyken, $h/R = 0.004$ değeri için $\%7.59$ artarak 65.15 cm değerine çıkmıştır (Şekil 4.2 (c ve d)). Buna karşın, h/R oranının artışıyla yaşanan az sayıdaki azalış durumlarına



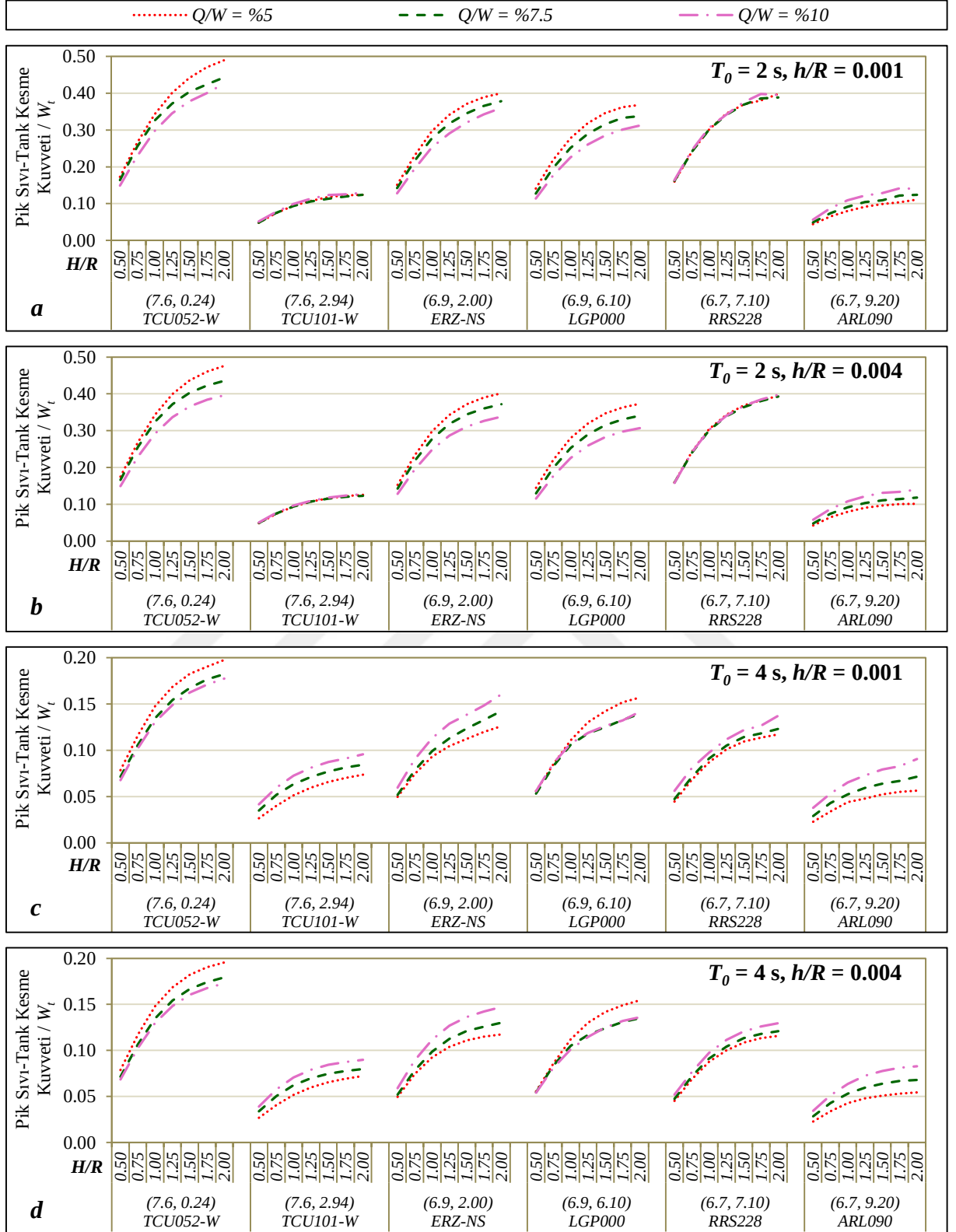
Şekil 4.1: Yakın fay deprem kayıtları altında (a) $T_0 = 2 \text{ s}, h/R = 0.001$, (b) $T_0 = 2 \text{ s}, h/R = 0.004$, (c) $T_0 = 4 \text{ s}, h/R = 0.001$ ve (d) $T_0 = 4 \text{ s}, h/R = 0.004$ için elde edilen pik taban deplasmanı yanıtları.



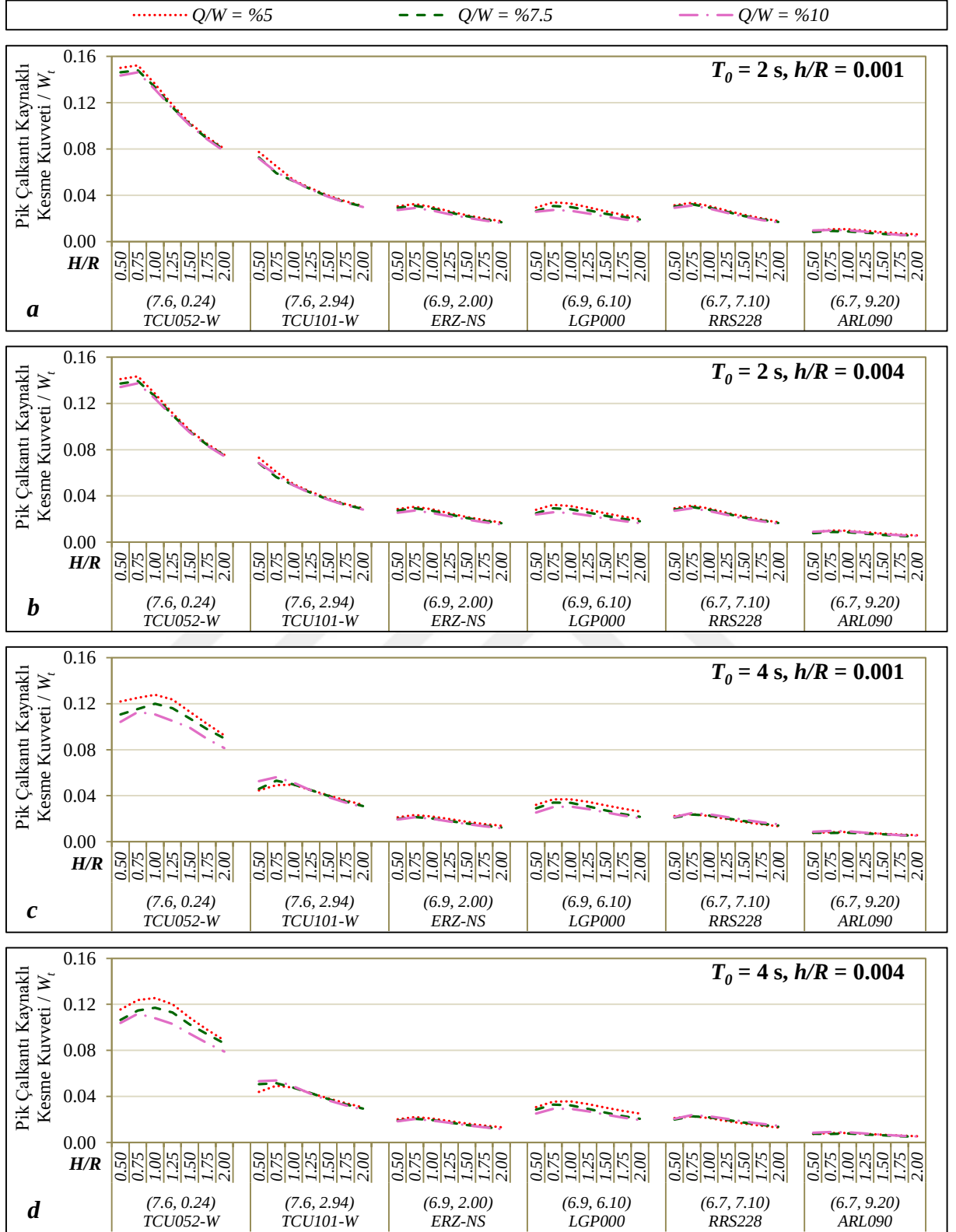
Şekil 4.2: Yakın fay deprem kayıtları altında (a) $T_0 = 2 \text{ s}, h/R = 0.001$, (b) $T_0 = 2 \text{ s}, h/R = 0.004$, (c) $T_0 = 4 \text{ s}, h/R = 0.001$ ve (d) $T_0 = 4 \text{ s}, h/R = 0.004$ için elde edilen pik çalkantı deplasmanı yanıtları.



Şekil 4.3: Yakın fay deprem kayıtları altında (a) $T_0 = 2 \text{ s}, h/R = 0.001$, (b) $T_0 = 2 \text{ s}, h/R = 0.004$, (c) $T_0 = 4 \text{ s}, h/R = 0.001$ ve (d) $T_0 = 4 \text{ s}, h/R = 0.004$ için elde edilen pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti yanıtları.



Şekil 4.4: Yakın fay deprem kayıtları altında (a) $T_0 = 2 \text{ s}$, $h/R = 0.001$, (b) $T_0 = 2 \text{ s}$, $h/R = 0.004$, (c) $T_0 = 4 \text{ s}$, $h/R = 0.001$ ve (d) $T_0 = 4 \text{ s}$, $h/R = 0.004$ için elde edilen pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtları.



Şekil 4.5: Yakın fay deprem kayıtları altında (a) $T_0 = 2 \text{ s}, h/R = 0.001$, (b) $T_0 = 2 \text{ s}, h/R = 0.004$, (c) $T_0 = 4 \text{ s}, h/R = 0.001$ ve (d) $T_0 = 4 \text{ s}, h/R = 0.004$ için elde edilen pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtları.

örnek vermek gerekirse, ARL090 deprem kaydı için $T_0 = 2$ s, $Q/W = \%7.5$, $H/R = 2.00$ ve $h/R = 0.001$ durumunda pik çalkantı deplasmanı yanıtı 23.70 cm değerindeyken, $h/R = 0.004$ değeri için %1.98 azalarak 23.23 cm değerine inmiştir (Şekil 4.2 (a ve b)). Pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti yanıtları, genel olarak $h/R = 0.001$ sistemleri için $h/R = 0.004$ olan sistemlere nazaran (özellikle küçük H/R oranları için) daha küçük değerler almıştır (Şekil 4.3). Örneğin LGP000 deprem kaydı için $T_0 = 4$ s, $Q/W = \%10$, $H/R = 0.50$ ve $h/R = 0.001$ durumunda pik izolasyon sistemi kesme kuvveti izolasyon sistemi üzerindeki toplam yapı ağırlığının %6.78'i kadarken $h/R = 0.004$ için %15.85'lik bir artış göstererek toplam yapı ağırlığının %7.85'ine çıkmıştır (Şekil 4.3 (c ve d)). Buna karşın, $T_0 = 2$ s izolasyon periyotlu sistemler için TCU052-W, TCU101-W ve ERZ-NS deprem kayıtları etkisi altında ve $T_0 = 4$ s izolasyon periyotlu sistemler için TCU052-W ve TCU101-W deprem kayıtları etkisi altında bazı durumlarda h/R oranının artışı ile yanıtların azaldığı da görülmüştür (Şekil 4.3). Pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtları ise genel olarak $h/R = 0.001$ sistemleri için $h/R = 0.004$ olan sistemlere nazaran en fazla %10'a varan daha büyük değerler almıştır (Şekil 4.4). Pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtlarının, h/R oranının 0.001 veya 0.004 olma durumundan çok az miktarda etkilendiği (farklılık genellikle %10'un altında), ancak genel olarak $h/R = 0.001$ olan sistemlerde $h/R = 0.004$ olan sistemlere nazaran daha büyük olduğu görülmüştür (Şekil 4.5). Örneğin TCU052-W deprem kaydı için $T_0 = 2$ s, $Q/W = \%5$, $H/R = 0.50$ ve $h/R = 0.001$ durumunda pik çalkantı kaynaklı kesme kuvveti değeri izolasyon sistemi üzerindeki toplam yapı ağırlığının %15.01'i değerindeyken, $h/R = 0.004$ için %6.05 azalarak %14.10 değerine düşmüştür (Şekil 4.5 (a ve b)). Ayrıntılı grafikler için EK-3'e bakınız.

4.1.2. Tarihi Uzak Fay Deprem Kayıtları Altında Sismik Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

İlave viskoz sönümleyici kullanılmayan taban izolasyonlu sıvı depolama tankı modellerinin uzak fay özelliği sergileyen CHY029-W, BRN-090, CAP000, WAH-090, RO3-090 ve SSU-090 deprem kayıtları altında gerçekleştirilen doğrusal olmayan sismik analizleri sonucunda elde edilen pik taban deplasmanı, pik çalkantı deplasmanı, pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti, pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti ve pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtları ((a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, (b) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.004$, (c) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$ ve (d) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.004$ özelliklerine sahip sistemler için) sırasıyla Şekil 4.6, 4.7, 4.8, 4.9 ve 4.10'da verilmiştir. Ayrıca, bu yanıtların yorumlanmasında kolaylık sağlaması açısından, T_0

= 2 s izolasyon periyoduna sahip sistem yanıtlarının $T_0 = 4$ s izolasyon periyodu için elde edilenlere oranlarının sunulduğu grafikler, farklı Q/W oranları için elde edilen yanıtların birbirlerine göre oranlarının sunulduğu grafikler ve $h/R = 0.001$ tank esnekliği için elde edilen yanıtların $h/R = 0.004$ tank esnekliği için elde edilenlere oranının alındığı grafikler EK-4'te sunulmuştur. Mevcut şekillerde sunulan deprem kayıtları, öncelikle moment büyüklüğünün azalması ve ardından her bir moment büyüklüğü değerinde fay hattına olan mesafenin artmasına göre sıralanmıştır. Bu kapsamda, parantez içerisinde verilen sayılar her bir deprem kaydı için sırasıyla moment büyüklüğü (M_w) ve faya en yakın mesafeyi (r) göstermektedir.

Fay hattına olan mesafenin pik taban deplasmanı, pik çalkantı deplasmanı, pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti, pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti ve pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtlarına olan etkisi açısından yakın depremlerdeki kadar belirgin bir eğilim ortaya çıkmamıştır (Şekil 4.6, 4.7, 4.8, 4.9 ve 4.10). Faya olan mesafedeki artışla söz konusu yanıtların artabildiği veya azalabildiği durumlar gözlemlenmiştir (Şekil 4.6, 4.7, 4.8, 4.9 ve 4.10).

Pik taban deplasmanı yanıtları izolasyon periyodundaki değişimle, depremin karakteristiğine göre önemli oranda artışlar veya azalışlar (%28.37'ye varan) gösterebilmektedir (Şekil 4.6). Örneğin BRN-090 deprem kaydı için $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, $H/R = 0.50$ ve $Q/W = \%5$ durumunda pik taban deplasmanı yanıtı 8.57 cm değerindeyken, aynı koşullarda $T_0 = 4$ s izolasyon periyodu için %21.87 artarak 10.44 cm değerini almış, CAP000 deprem kaydı etkisi altında ise $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, $H/R = 0.50$ ve $Q/W = \%5$ olma durumunda 17.10 cm değerindeyken, yine aynı koşullarda $T_0 = 4$ s için %17.68 azalarak 14.08 cm değerine düşmüştür (Şekil 4.6 (a ve c)). Pik çalkantı deplasmanı yanıtları ise artan izolasyon periyoduna bağlı olarak genellikle artmakta olup deprem kayıtlarının özelliklerine bağlı olarak bazı tersi durumlar da gözlenmiştir (Şekil 4.7). Örneğin RO3-090 deprem kaydı için $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, $H/R = 0.50$ ve $Q/W = \%5$ olma durumunda pik çalkantı deplasmanı yanıtı 20.39 cm değerindeyken, aynı koşullarda $T_0 = 4$ s için %27.38 azalarak 14.81 cm değerini almıştır. BRN-090 deprem kaydı etkisi altında ise $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, $H/R = 0.50$ ve $Q/W = \%5$ olma durumunda 6.06 cm değerindeyken, aynı koşullarda $T_0 = 4$ s için %36.13 artarak 8.25 cm değerine çıkmıştır (Şekil 4.7 (a ve c)). Şekil 4.8 ve 4.9'dan görüleceği üzere $T_0 = 2$ s izolasyon periyodu için pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti ve pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtları tüm durumlarda $T_0 = 4$ s izolasyon periyoduna sahip olma durumundan daha büyük değerler almıştır. Örneğin RO3-090

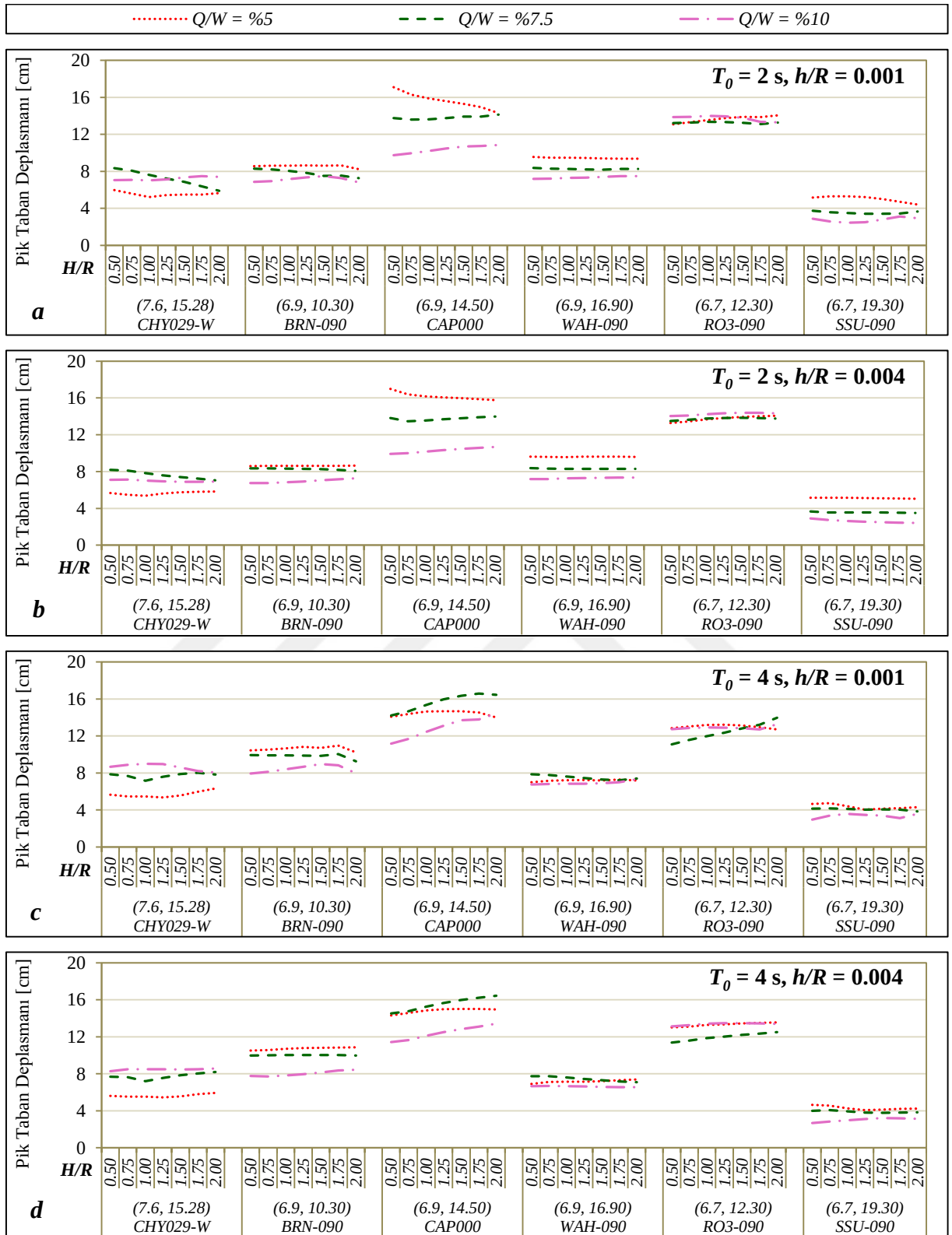
deprem kaydı için $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, $H/R = 2.00$ ve $Q/W = \%5$ olma durumunda pik izolasyon sistemi kesme kuvveti yanıtının izolasyon sistemi üzerindeki toplam yapı ağırlığına oranı $\%15.01$ değerindeyken, $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, $H/R = 2.00$ ve $Q/W = \%5$ olma durumunda $\%57.21$ azalarak toplam yapı ağırlığının $\%6.42$ 'sine düşmüştür (Şekil 4.8 (a ve c)). İzolasyon periyodundaki artış pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtlarını arttırabildiği gibi azaltabilmektedir (Şekil 4.10). Örneğin BRN-090 deprem kaydı için $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, $H/R = 0.50$ ve $Q/W = \%5$ olma durumunda pik çalkantı kaynaklı kesme kuvveti izolasyon sistemi üzerindeki yapı ağırlığının $\%0.25$ 'i gibi küçük bir değerindeyken, $T_0 = 4$ s için $\%36$ artarak ancak toplam yapı ağırlığının $\%0.34$ 'üne çıkabilmiştir. Aynı yanıt RO3-090 deprem kaydı için $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, $H/R = 0.50$ ve $Q/W = \%5$ olma durumunda $\%0.85$ gibi küçük bir değer alırken, $T_0 = 4$ s için $\%27.40$ azalarak $\%0.62$ değerine azalmıştır (Şekil 4.10 (a ve c)). Ayrıntılı grafikler için EK-4'e bakınız.

Q/W oranındaki artış, uzak fay tarihi deprem kayıtları altında taban deplasmanında genellikle azalmaya sebep olmakla birlikte, izolasyon periyodu, H/R oranı ve deprem karakteristiği kombinasyonuna bağlı olarak bazı durumlarda artışlara da sebep olabilmektedir (Şekil 4.6). Örneğin genel eğilimden farklı olarak, CHY029-W deprem kaydı altında $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, $H/R = 1.00$ durumunda $\%5$ karakteristik kuvvet oranı için söz konusu yanıt 5.23 cm değerindeyken $\%7.5$ karakteristik kuvvet oranı için 1.46 katına çıkarak 7.62 cm değerini almıştır (Şekil 4.6 (a)). Pik çalkantı deplasmanı yanıtlarının ise Q/W oranındaki artışa bağlı olarak azaldığı durumlar olabildiği gibi çok sayıda durum için de belirgin artışlara sebep olabildiği görülmüştür (Şekil 4.7). Pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti ve pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtları bazı istisnai durumlar hariç Q/W oranının $\%5$ olduğu durumda en düşük değerini alma ve Q/W oranının $\%10$ olduğu durumda en yüksek değerini alma eğilimindedirler (Şekil 4.8 ve 4.9). $T_0 = 2$ s izolasyon periyoduna sahip sistemlerde $h/R = 0.001$ ve 0.004 durumları için (Şekil 4.8 (a ve b) ve Şekil 4.9 (a ve b)) CAP000 deprem kaydı etkisi altında bazı H/R oranlarında bu sıralamada farklılıklar oluşabildiği görülmüştür. Q/W oranlarındaki artış genellikle pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtlarını azaltmakla birlikte deprem karakteristiğine göre bazı durumlarda artışlara sebep olabilmektedir (Şekil 4.10). Ayrıntılı grafikler için EK-4'e bakınız.

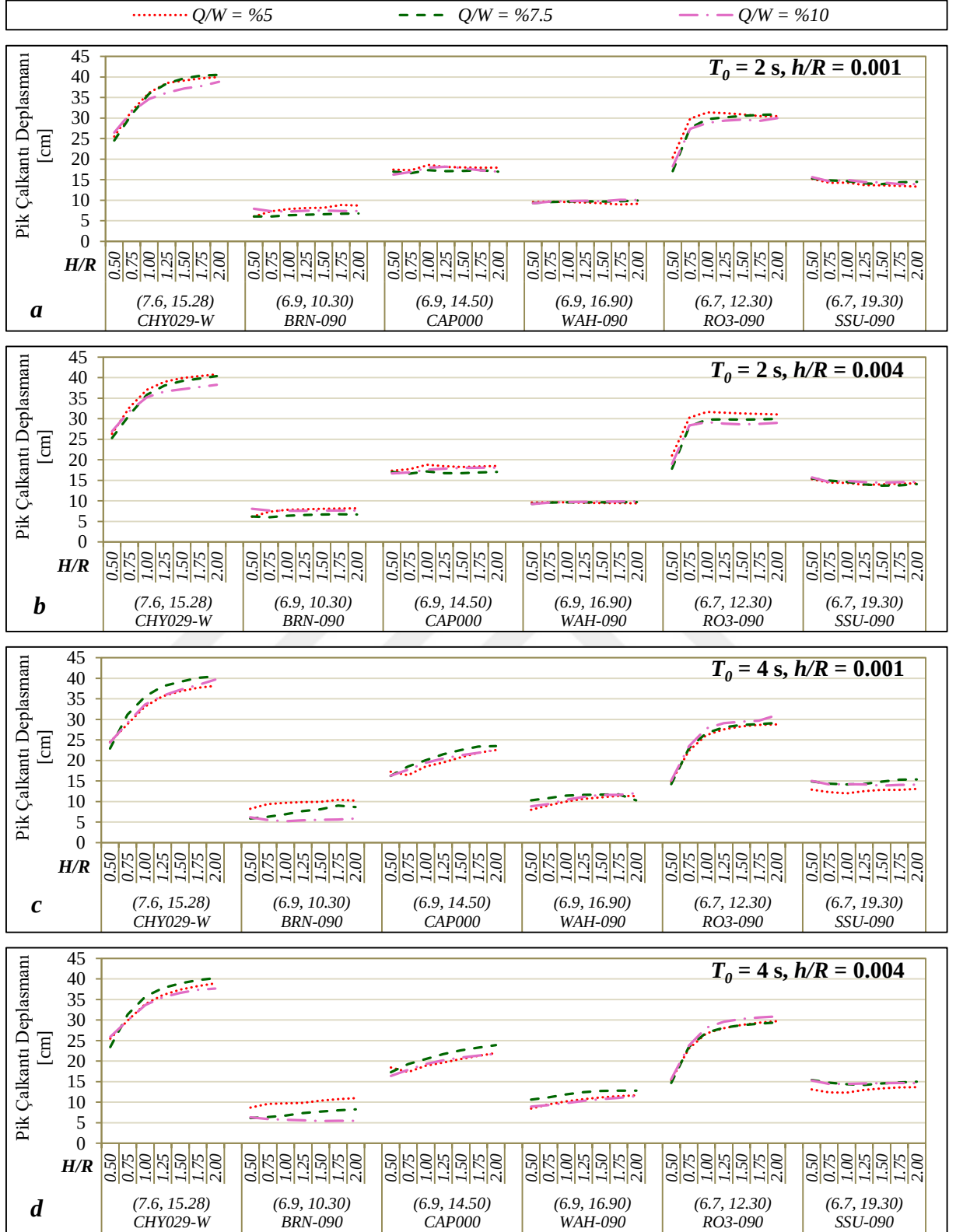
H/R oranındaki artışın pik taban deplasmanı yanıtlarını büyük oranda olmamakla birlikte etkilediği ve depremin karakteristik özelliklerine bağlı olarak arttırabildiği gibi azaltabildiği de

görülmektedir (Şekil 4.6). Örneğin CAP000 deprem kaydı için $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, $Q/W = \%5$ ve $H/R = 0.50$ olma durumunda pik taban deplasmanı yanıtı 17.10 cm değerindeyken, $H/R = 2.00$ değeri için %16.41 azalarak 14.29 cm değerine düşmüştür (Şekil 4.6 (a)). Buna karşılık CAP000 deprem kaydı etkisi altında $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, $Q/W = \%10$ ve $H/R = 0.50$ olma durumunda pik taban deplasmanı yanıtı 11.16 cm değerindeyken, $H/R = 2.00$ değeri için %29.24 artarak 14.42 cm değerine çıkmıştır (Şekil 4.6 (c)). H/R oranındaki artışın pik çalkantı deplasmanı yanıtlarını artış miktarı depremin karakteristik özelliklerine bağlı olmakla birlikte genel olarak arttırdığı görülmektedir (Şekil 4.7). Örneğin CHY029-W deprem kaydı için $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, $Q/W = \%5$ ve $H/R = 0.50$ olma durumunda pik çalkantı deplasmanı yanıtı 25.50 cm değerindeyken, $H/R = 2.00$ değeri için %56.77 artış göstererek 39.98 cm değerine çıkmıştır (Şekil 4.7 (a)). Buna karşılık SSU-090 deprem kaydı etkisi altında $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, $Q/W = \%5$ ve $H/R = 0.50$ olma durumunda 15.21 cm değerindeyken, $H/R = 2.00$ değeri için %12.32 azalarak 13.34 cm değerine düşmüştür (Şekil 4.7 (a)). H/R oranındaki artışın pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvvetini tüm durumlarda arttırdığı görülmektedir (Şekil 4.8). Örneğin CAP000 deprem kaydı için $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, $Q/W = \%5$ ve $H/R = 0.50$ olma durumunda pik izolasyon sistemi kesme kuvveti izolasyon sistemi üzerindeki toplam yapı ağırlığının %9.53'ü değerindeyken, $H/R = 2.00$ değeri için %59.60 artarak toplam yapı ağırlığının %15.21'ine çıkmıştır (Şekil 4.8 (a)). Sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtlarının ise H/R oranındaki artış ile arttığı görülmektedir (Şekil 4.9). Pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtlarının H/R oranındaki artışla depremin karakteristik özelliklerine bağlı olmakla birlikte genel olarak önce bir miktar arttığı ve ardından azaldığı görülmektedir (Şekil 4.10). Örneğin CHY029-W deprem kaydı için $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, $Q/W = \%5$ ve $H/R = 0.50$ durumunda pik çalkantı kaynaklı kesme kuvveti yanıtı izolasyon sistemi üzerindeki toplam yapı ağırlığının %1.06'sı kadarken, $H/R = 0.75$ için %1.36'sına çıkmıştır ve gitgide azalarak $H/R = 2.00$ oranı için %0.87'sine düşmüştür (Şekil 4.10 (a)).

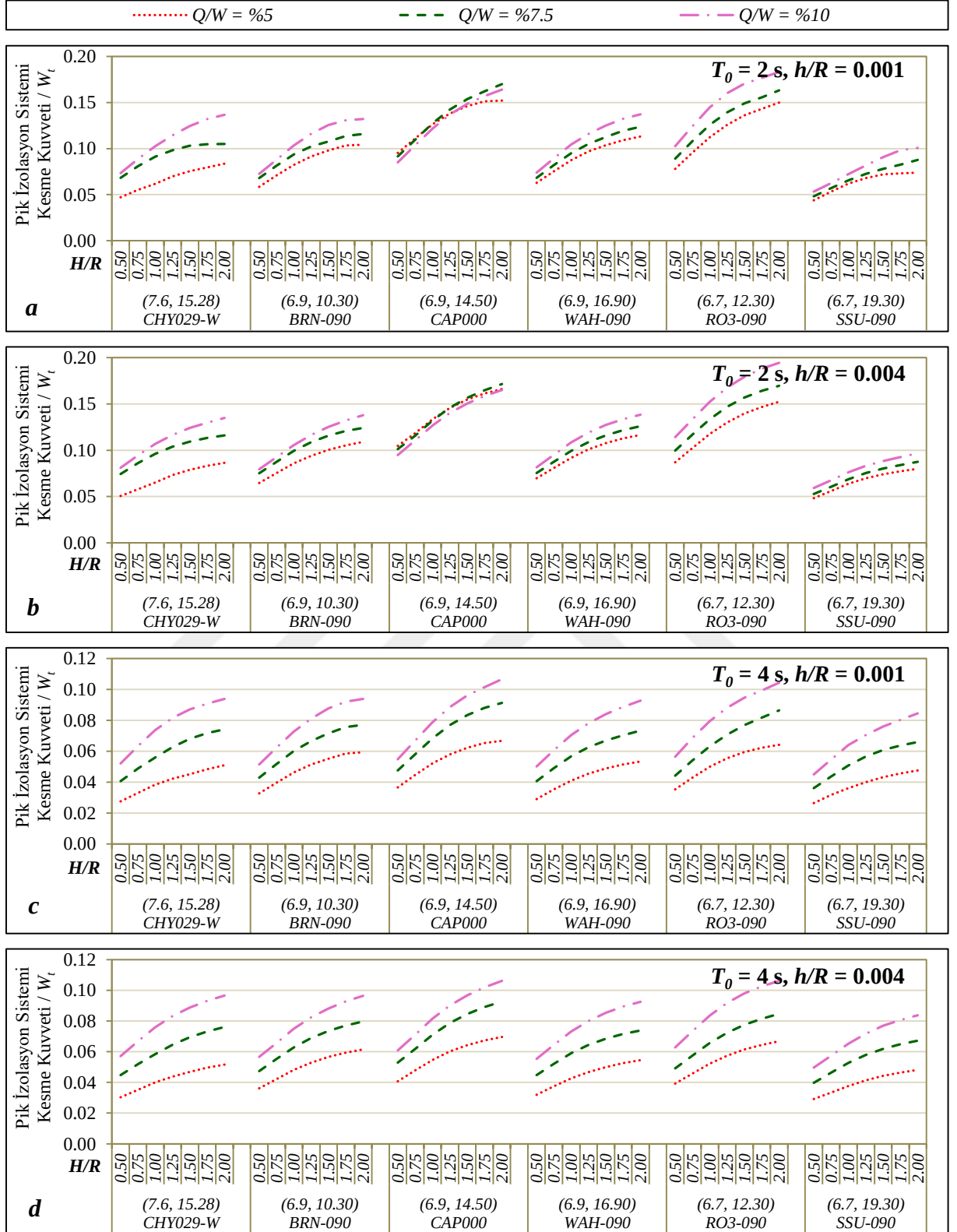
h/R oranının 0.001 veya 0.004 olma durumunun pik taban deplasmanı yanıtlarını genel olarak çok fazla değiştirmedeği (genellikle %10'a kadar farklılık yaratmaktadır), deprem karakteristiklerine bağlı olarak artış veya azalışların olduğu görülmüştür. Örneğin CAP000 deprem kaydı için $T_0 = 4$ s, $Q/W = \%5$, $H/R = 0.50$ ve $h/R = 0.001$ olma durumunda pik taban deplasmanı yanıtı 14.08 cm değerindeyken, $h/R = 0.004$ değeri için %1.55 artarak 14.30 cm değerini almıştır (Şekil 4.6 (c ve d)). Pik çalkantı deplasmanı yanıtlarının ise h/R oranının 0.001



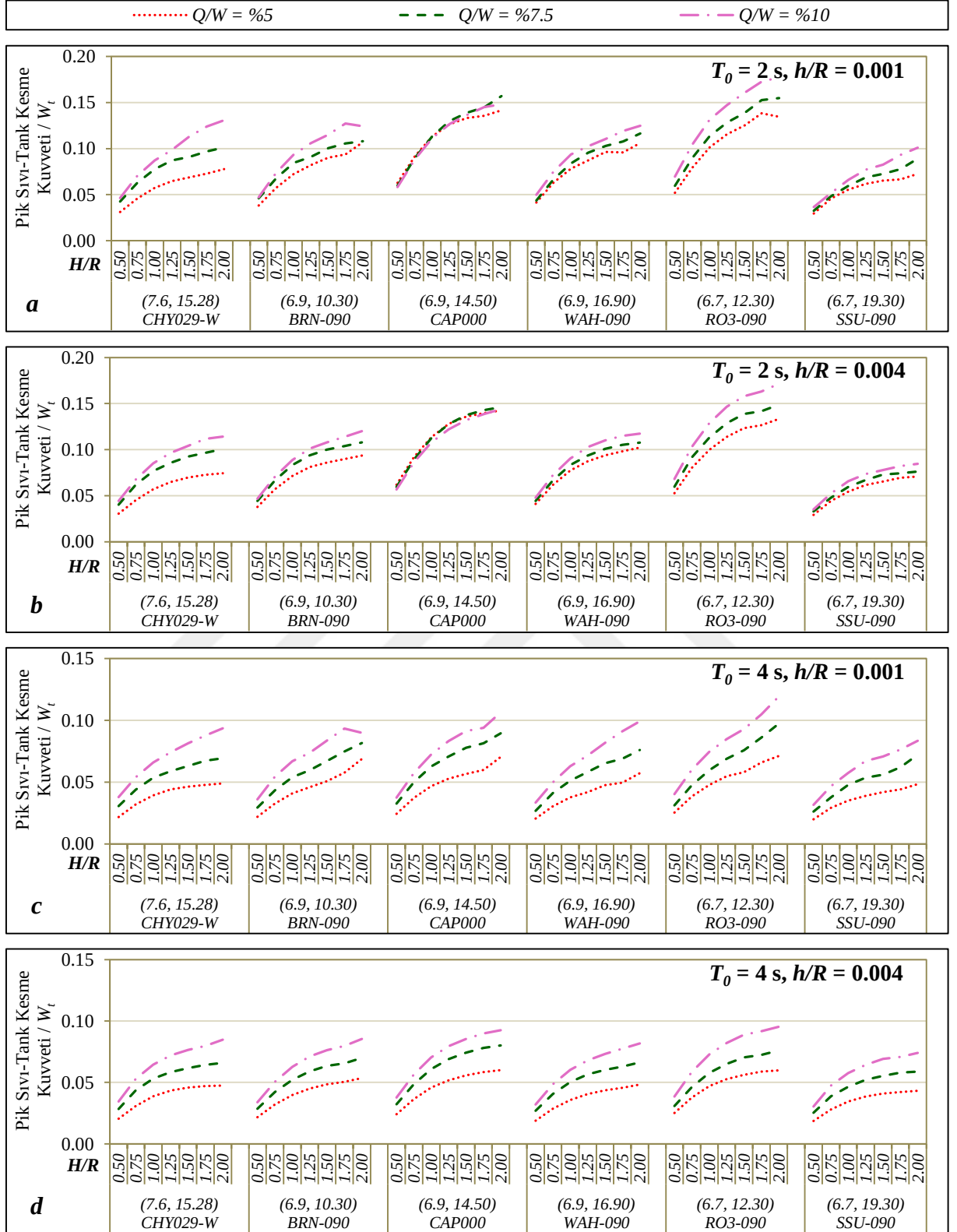
Şekil 4.6: Uzak fay deprem kayıtları altında (a) $T_0 = 2 \text{ s}, h/R = 0.001$, (b) $T_0 = 2 \text{ s}, h/R = 0.004$, (c) $T_0 = 4 \text{ s}, h/R = 0.001$ ve (d) $T_0 = 4 \text{ s}, h/R = 0.004$ için elde edilen pik taban deplasmanı yanıtları.



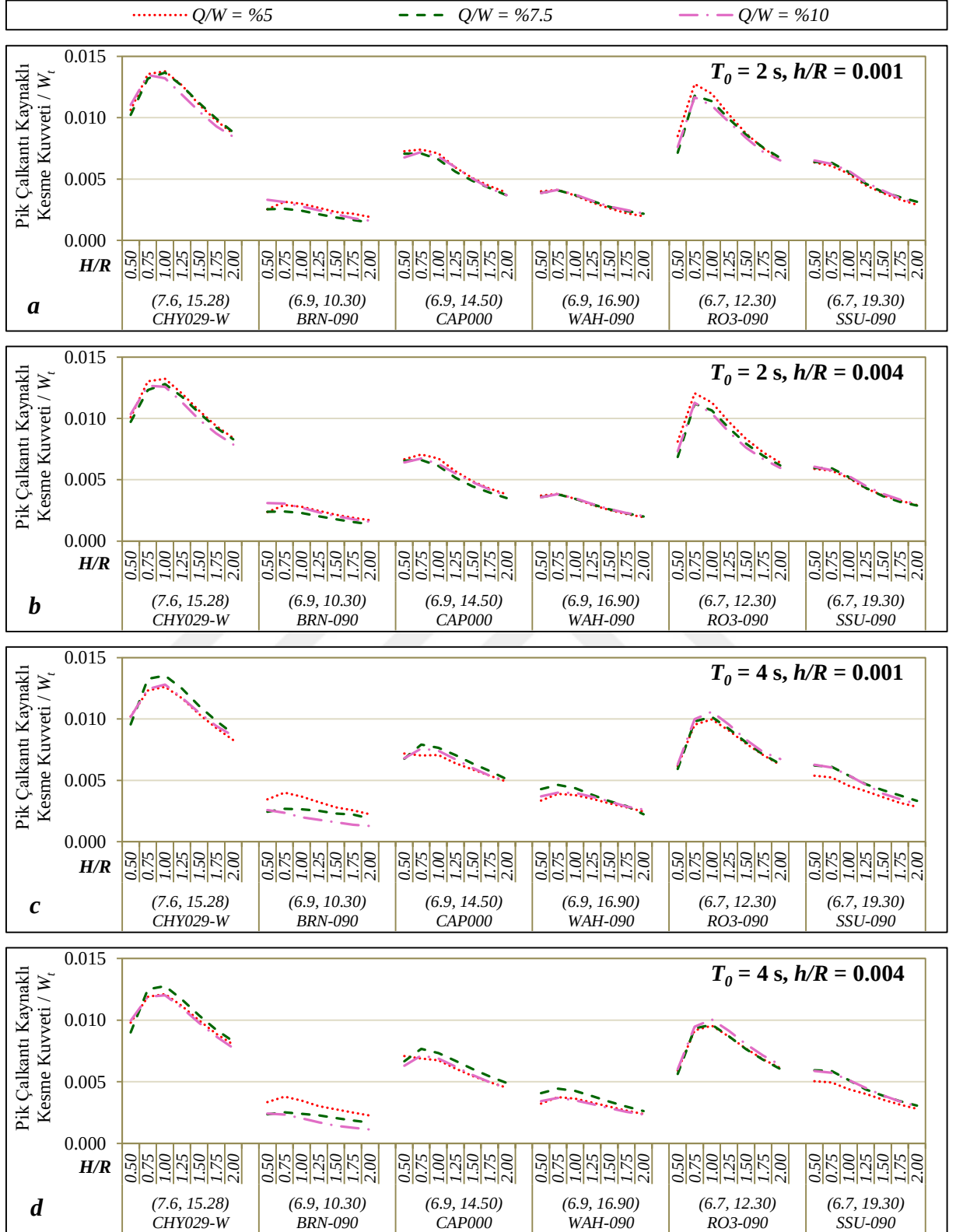
Şekil 4.7: Uzak fay deprem kayıtları altında (a) $T_0 = 2 \text{ s}, h/R = 0.001$, (b) $T_0 = 2 \text{ s}, h/R = 0.004$, (c) $T_0 = 4 \text{ s}, h/R = 0.001$ ve (d) $T_0 = 4 \text{ s}, h/R = 0.004$ için elde edilen pik çalkantı deplasmanı yanıtları.



Şekil 4.8: Uzak fay deprem kayıtları altında (a) $T_0 = 2 \text{ s}$, $h/R = 0.001$, (b) $T_0 = 2 \text{ s}$, $h/R = 0.004$, (c) $T_0 = 4 \text{ s}$, $h/R = 0.001$ ve (d) $T_0 = 4 \text{ s}$, $h/R = 0.004$ için elde edilen pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti yanıtları.



Şekil 4.9: Uzak fay deprem kayıtları altında (a) $T_0 = 2 \text{ s}, h/R = 0.001$, (b) $T_0 = 2 \text{ s}, h/R = 0.004$, (c) $T_0 = 4 \text{ s}, h/R = 0.001$ ve (d) $T_0 = 4 \text{ s}, h/R = 0.004$ için elde edilen pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtları.



Şekil 4.10: Uzak fay deprem kayıtları altında (a) $T_0 = 2 \text{ s}$, $h/R = 0.001$, (b) $T_0 = 2 \text{ s}$, $h/R = 0.004$, (c) $T_0 = 4 \text{ s}$, $h/R = 0.001$ ve (d) $T_0 = 4 \text{ s}$, $h/R = 0.004$ için elde edilen pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtları.

veya 0.004 olma durumunda birbirine oldukça yakın (farklılıklar genellikle %5~%10 civarı) olduğu ve h/R oranına bağlı olarak belirgin bir eğilim ortaya çıkmadığı, bu orandaki artışın söz konusu yanıtı arttırabildiği gibi azaltabildiği durumların da mevcut olduğu görülmüştür (Şekil 4.7). Örneğin CHY029-W deprem kaydı için $T_0 = 2$ s, $Q/W = \%5$, $H/R = 2.00$ ve $h/R = 0.001$ olma durumunda pik çalkantı deplasmanı yanıtı 39.98 cm değerindeyken, $h/R = 0.004$ değeri için %2.10 artarak 40.82 cm değerine çıkmıştır. Buna karşılık BRN-090 deprem kaydı etkisi altında $T_0 = 2$ s, $Q/W = \%5$, $H/R = 2.00$ ve $h/R = 0.001$ olma durumunda pik çalkantı deplasmanı yanıtı 8.75 cm değerindeyken, $h/R = 0.004$ değeri için az miktarda azalarak (%6.16) 8.21 cm değerine inmiştir (Şekil 4.7 (a ve b)). h/R oranının 0.001 veya 0.004 olma durumunun pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti yanıtlarını genellikle %10'a kadar farklılık yaratacak şekilde etkilediği ve h/R 'deki artışın bu yanıtları arttırdığı görülmüştür (Şekil 4.8). Pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtlarının ise h/R oranındaki artış ile birlikte genel olarak küçük bir miktarda azaldığı görülmektedir (Şekil 4.9). h/R oranının 0.001 veya 0.004 olma durumunun pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtlarını küçük bir miktar etkilediği (fark genellikle %10'a kadardır), artış veya azalışlara sebep olabildiği ve en uç durumda %18 civarında bir farklılık yarattığı görülmüştür. (Şekil 4.10). Ayrıntılı grafikler için EK-4'e bakınız.

4.1.3. Tarihi Yakın Fay ve Uzak Fay Deprem Kayıtlarına Ait Sismik Analiz Sonuçlarının Karşılaştırmalı Olarak Değerlendirilmesi

Bölüm 4.1.1 ve 4.1.2'de ilave viskoz sönümleyici kullanılmayan taban izolasyonlu sıvı depolama tankı modellerinin sırasıyla tarihi yakın fay (TCU052-W, TCU101-W, ERZ-NS, LGP000, RRS228 ve ARL090) ve uzak fay (CHY029-W, BRN-090, CAP000, WAH-090, RO3-090 ve SSU-090) deprem kayıtları altında elde edilen pik taban deplasmanı, pik çalkantı deplasmanı, pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti, pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti ve pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtları her bir deprem kaydı ayrı ayrı dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Deprem çalışmalarında ise, genel eğilimlerin belirlenmesi açısından farklı depremler altında ortaya çıkan dinamik yanıtların ortalamaları önem arz etmektedir. Bu nedenle mevcut kısımda, Bölüm 4.1.1 ve 4.1.2'de ilave viskoz sönümleyici kullanılmayan taban izolasyonlu sıvı depolama tanklarının tarihi yakın fay ve uzak fay depremleri altında elde edilen sismik yanıtları kullanılarak hesaplanan ortalama değerlerin sunulduğu grafikler oluşturulmuş ve yorumlanmıştır (Şekil 4.11, 4.12, 4.13, 4.14, 4.15 ve 4.16).

Ayrıca, bu yanıtların yorumlanmasında kolaylık sağlaması açısından, $T_0 = 2$ s izolasyon periyoduna sahip sistem yanıtlarının $T_0 = 4$ s izolasyon periyodu için elde edilenlere oranlarının sunulduğu grafikler, farklı Q/W oranları için elde edilen yanıtların birbirlerine göre oranlarının sunulduğu grafikler ve $h/R = 0.001$ tank esnekliği için elde edilen yanıtların $h/R = 0.004$ tank esnekliği için elde edilenlere oranının alındığı grafikler *EK-5*'te sunulmuştur.

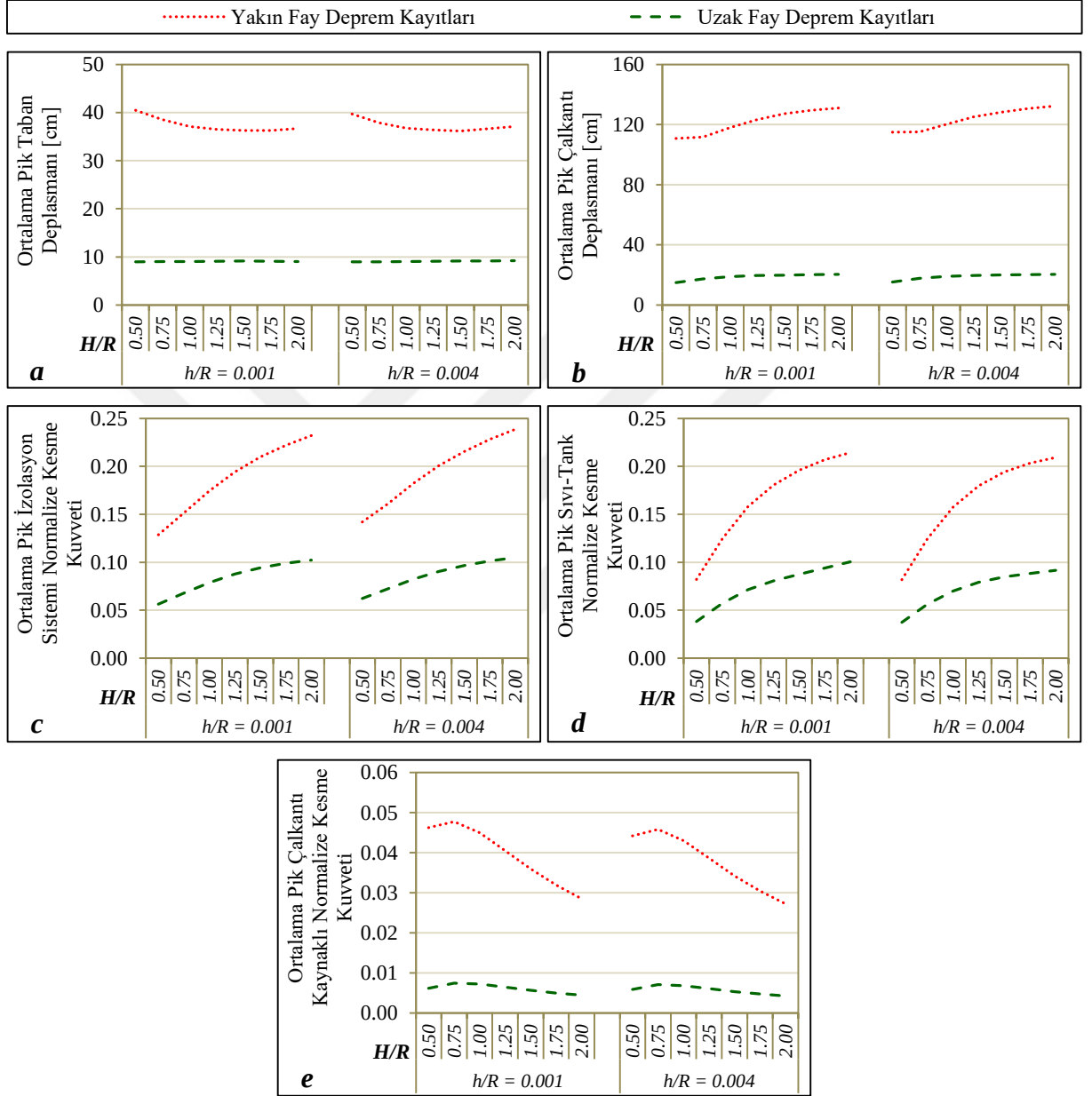
Şekil 4.11 (a), (b), (c), (d) ve (e)'de sırasıyla pik taban deplasmanı, pik çalkantı deplasmanı, pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti, pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti ve pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtları, yakın ve uzak fay tarihi deprem kayıtları için h/R oranının 0.001 ve 0.004 olma durumu ile H/R oranının 0.50, 0.75, 1.00, 1.25, 1.50, 1.75 ve 2.00 olma durumları için; ancak, uygulanan deprem kaydı, izolasyon periyodu ve karakteristik kuvvet oranı ayrımı yapılmadan elde edilen ortalama değerler için verilmiştir. Ayrıntılı grafikler için *EK-5*'e bakınız.

Ortalama pik taban deplasmanı yanıtları yakın fay özelliği gösteren deprem kayıtlarının etkisi altında oldukça büyük değerler alırken, uzak fay özelliği gösteren deprem kayıtlarının etkisi altında çok daha küçük değerler almaktadır. H/R ve h/R oranlarındaki değişimin ortalama pik taban deplasmanı değerlerini daha çok yakın fay depremlerinde olmak üzere küçük bir miktar etkilediği ve H/R değişiminin h/R 'ye göre daha fazla etki yaptığı görülmüştür (Şekil 4.11 (a)).

Ortalama pik çalkantı deplasmanı yanıtları yakın fay özelliği gösteren deprem kayıtlarının etkisi altında oldukça büyük değerler alırken, uzak fay özelliği gösteren deprem kayıtlarının etkisi altında çok daha küçük değerler almaktadır. H/R oranındaki artış hem yakın fay hem de uzak fay deprem kayıtları etkisi altında ortalama değerlerde genel olarak artışa neden olmuştur. Ayrıca çok büyük farklılıklar oluşturmamakla birlikte h/R oranındaki artışın da hem yakın fay hem de uzak fay deprem kayıtları etkisi altında ortalama değerlerde bir miktar artışa sebep olduğu görülmektedir (Şekil 4.11 (b)).

Ortalama pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti ve ortalama pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtları yakın fay özelliği gösteren deprem kayıtlarının etkisi altında, uzak fay özelliği gösteren deprem kayıtlarının etkisi altındaki durumdan çok daha büyük değerler almaktadır. H/R oranındaki artış hem yakın fay hem de uzak fay deprem kayıtları etkisi altında ortalama değerlerde artışa neden olmuştur. Farklı h/R oranları için yanıtlar hemen hemen aynı olmakla birlikte, ortalama pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti için h/R oranının

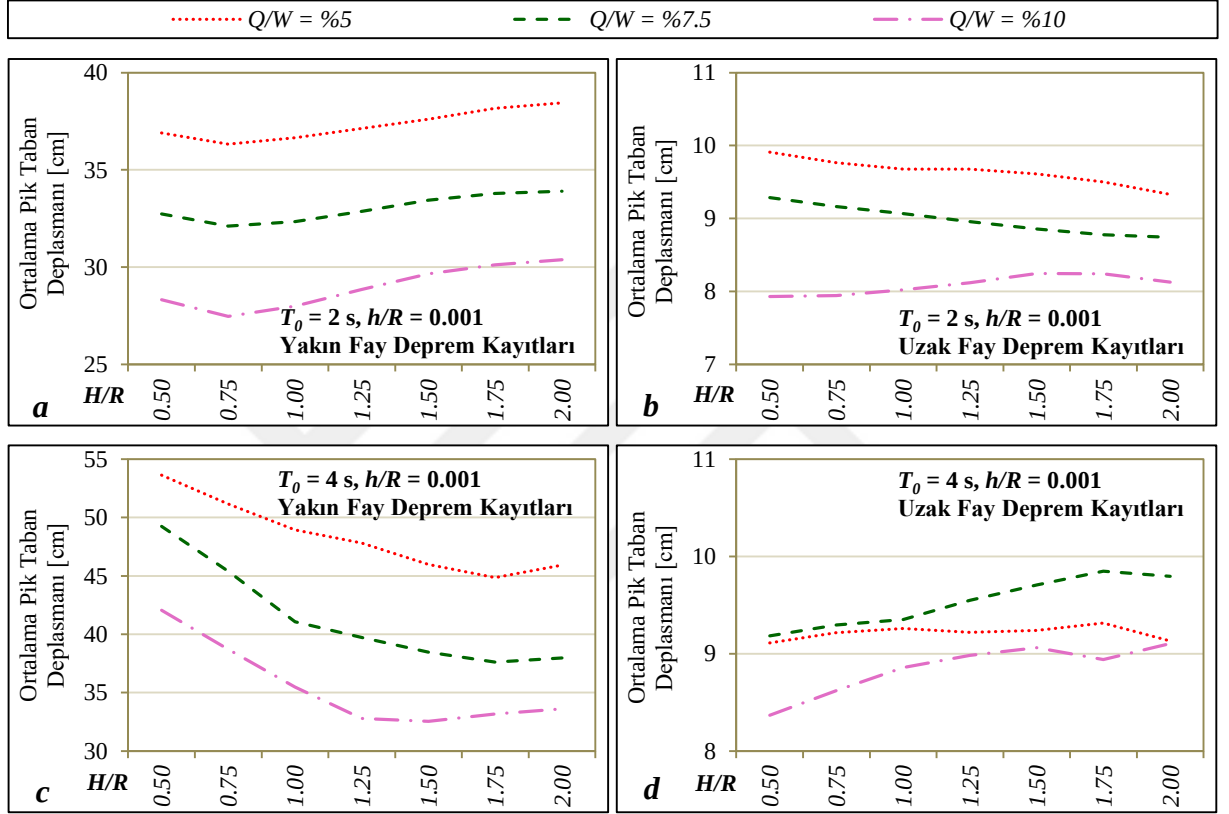
0.004 olması durumunda elde edilen yanıtların 0.001 olma durumunda elde edilen yanıtlardan bir miktar daha büyük olduğu, pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtları için ise bir miktar daha küçük olduğu da görülmektedir (Şekil 4.11 (c) ve 4.11 (d)).



Şekil 4.11: Yakın fay ve uzak fay tarihi deprem kayıtları altında farklı h/R ve H/R değerleri için elde edilen (a) pik taban deplasmanı, (b) pik çalkantı deplasmanı, (c) pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti, (d) pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti ve (e) pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtlarının ortalama değerleri.

Ortalama pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtları yakın fay özelliği gösteren deprem kayıtlarının etkisi altında, uzak fay özelliği gösteren deprem kayıtlarının etkisi altındaki durumdan daha büyük değerler almaktadır. H/R oranındaki artış hem yakın fay hem de uzak

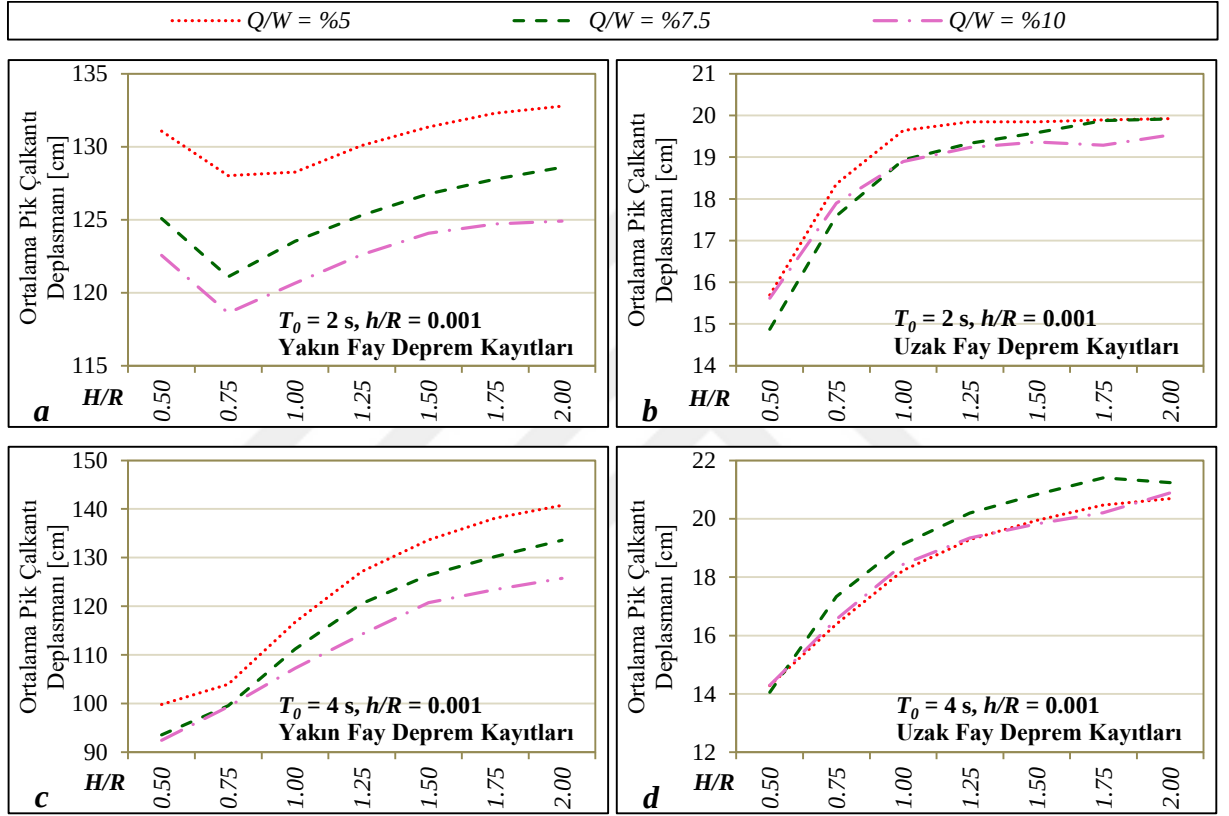
fay deprem kayıtları etkisi altında ortalama değerlerde genel olarak önce bir miktar artışa ardından azalışa neden olmuştur. h/R oranındaki değişimin ise ortalama pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtlarını az miktarda etkilediği ve $h/R = 0.001$ oranı için elde edilen yanıtların $h/R = 0.004$ için elde edilen yanıtlara göre bir miktar daha fazla olduğu da görülmektedir (Şekil 4.11 (e)).



Şekil 4.12: (a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, yakın fay deprem kayıtları, (b) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, uzak fay deprem kayıtları, (c) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, yakın fay deprem kayıtları ve (d) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, uzak fay deprem kayıtları için elde edilen ortalama pik taban deplasmanı yanıtları.

Şekil 4.12, 4.13, 4.14, 4.15 ve 4.16’da sırasıyla pik taban deplasmanı, pik çalkantı deplasmanı, pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti, pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti ve pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtlarının her birinin ortalama değerleri sırasıyla (a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, yakın fay deprem kayıtları, (b) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, uzak fay deprem kayıtları, (c) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, yakın fay deprem kayıtları ve (d) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, uzak fay deprem kayıtları için verilmiştir. Ortalama değerler elde edilirken yakın fay ve uzak fay tarihi deprem kayıtları altındaki yanıtların ortalamaları ayrı ayrı alınmıştır. Grafikler, $T_0 = 2$ s ve 4 s, $h/R = 0.001$ ve 0.004, $H/R = 0.50, 0.75, 1.00, 1.25, 1.50, 1.75$ ve 2.00 durumları ile uzak veya yakın fay deprem kaydından elde edilmiş olmalarına ve karakteristik kuvvet oranlarına

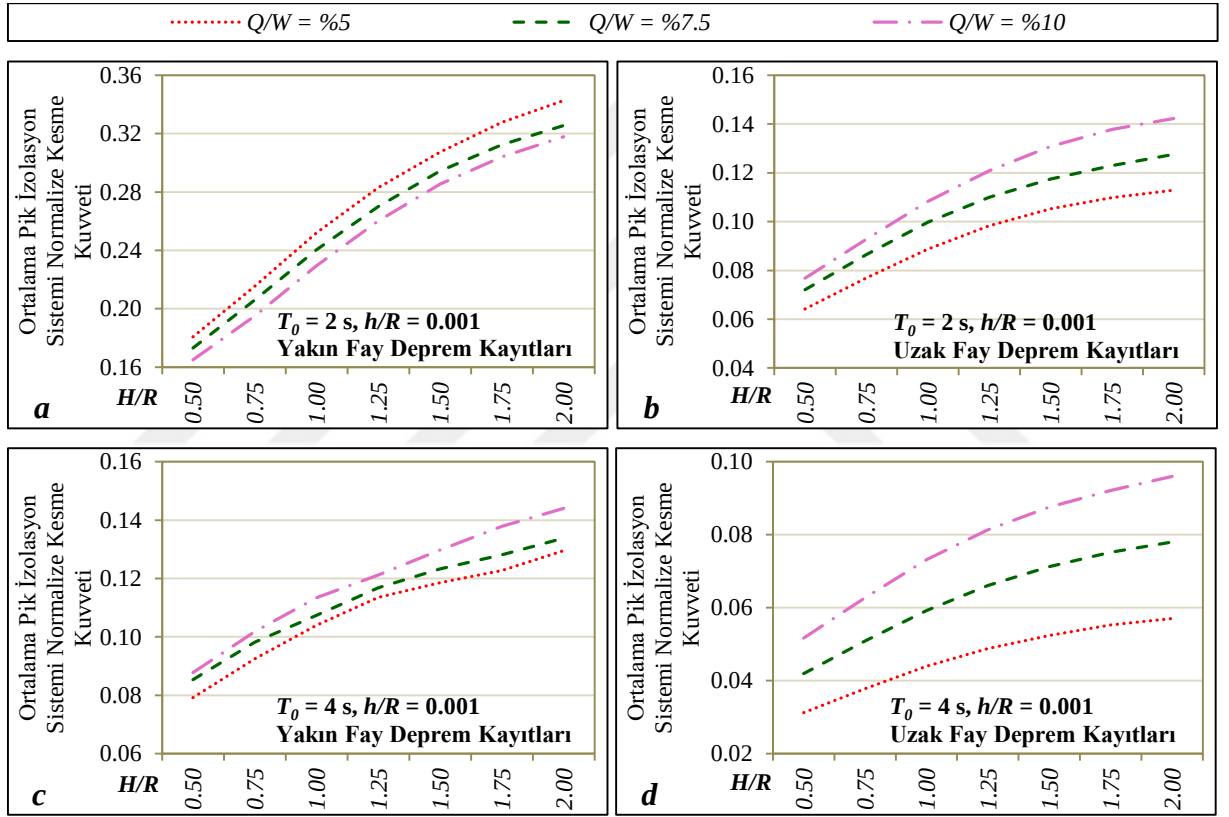
($Q/W = \%5$, $\%7.5$ ve $\%10$) bağılı olarak sınıflandırılmıştır. Bölüm 4.1.1, Bölüm 4.1.2 ve Şekil 4.11’de sunulan verilerin değerlendirilmesi sonucunda h/R oranının 0.001 veya 0.004 olmasının yapısal yanıtlara olan etkisinin diğer parametrelere kıyasla çok daha az olduğu görüldüğünden, Şekil 4.12, 4.13, 4.14, 4.15 ve 4.16’da söz konusu ortalama değerler h/R oranının sadece 0.001 olduğu durum için incelenmiştir. Burada hedef Q/W ve T_0 etkilerinin yakın ve uzak fay deprem kayıtları için karşılaştırılmasıdır. Ayrıntılı grafikler için EK-5’e bakınız.



Şekil 4.13: (a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, yakın fay deprem kayıtları, (b) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, uzak fay deprem kayıtları, (c) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, yakın fay deprem kayıtları ve (d) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, uzak fay deprem kayıtları için elde edilen ortalama pik çalkantı deplasmanı yanıtları.

Şekil 4.12 incelendiğinde, yakın fay özelliği gösteren deprem kayıtları için karakteristik kuvvet oranı Q/W değerinin artmasının ortalama pik taban deplasmanı yanıtlarını azalttığı ancak uzak fay özelliği gösteren deprem kayıtları için bazı durumlarda (özellikle $T_0 = 4$ s izolasyon periyodu için $Q/W = \%5$ ’ten $\%7.5$ ’e çıkartıldığında) az miktarda artışlara sebep olabildiği görülmektedir. İzolasyon periyodundaki artışın ortalama pik taban deplasmanı yanıtlarını özellikle yakın depremlerde arttırmakla birlikte bazı durumlarda uzak depremler için küçük bir miktar azalmaya da sebep olabildiği görülmüştür.

Şekil 4.13 incelendiğinde, özellikle yakın fay özelliği gösteren deprem kayıtları için karakteristik kuvvet oranı Q/W değerinin artmasının ortalama pik çalkantı deplasmanı yanıtlarını azalttığı görülmektedir. Ancak uzak fay özelliği gösteren deprem kayıtları için bazı durumlarda Q/W artışının söz konusu yanıtı arttırabildiği görülmektedir. $T_0 = 2$ s izolasyon periyotlu sistemlerin ortalama pik çalkantı deplasmanı yanıtlarının yakın ve uzak depremlerde $T_0 = 4$ s izolasyon periyotlu sistemlere nazaran genellikle daha büyük olduğu ancak bazı durumlarda çok az miktarda da olsa (özellikle büyük H/R oranları için) daha küçük olabildiği görülmüştür.

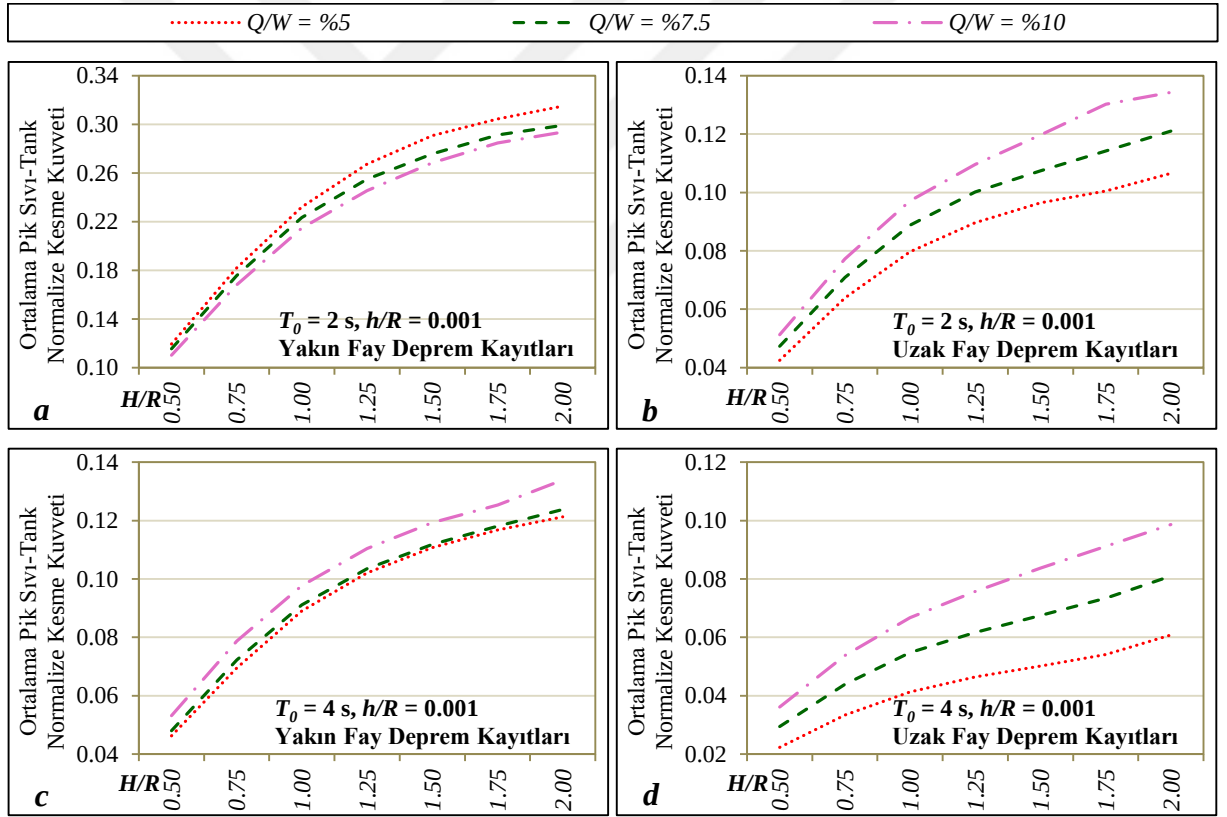


Şekil 4.14: (a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, yakın fay deprem kayıtları, (b) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, uzak fay deprem kayıtları, (c) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, yakın fay deprem kayıtları ve (d) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, uzak fay deprem kayıtları için elde edilen ortalama pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti yanıtları.

Şekil 4.14'teki grafikler incelendiğinde, $T_0 = 2$ s izolasyon periyoduna sahip sistemlerin yakın fay özelliği gösteren deprem kayıtları için karakteristik kuvvet oranı Q/W değerinin artmasının ortalama pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti yanıtlarını azalttığı, uzak fay özelliği gösteren deprem kayıtları için ise arttırdığı görülmüştür. $T_0 = 4$ s izolasyon periyoduna sahip sistemlerin hem yakın fay hem de uzak fay özelliği gösteren kayıtları için Q/W değerinin artması, yanıtları arttırmıştır. Hem uzak fay hem de yakın fay deprem kayıtları için $T_0 = 2$ s

izolasyon periyotlu sistemlerin ortalama pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti yanıtlarının $T_0 = 4$ s izolasyon periyotlu sistemlere nazaran daha büyük olduğu görülmüştür.

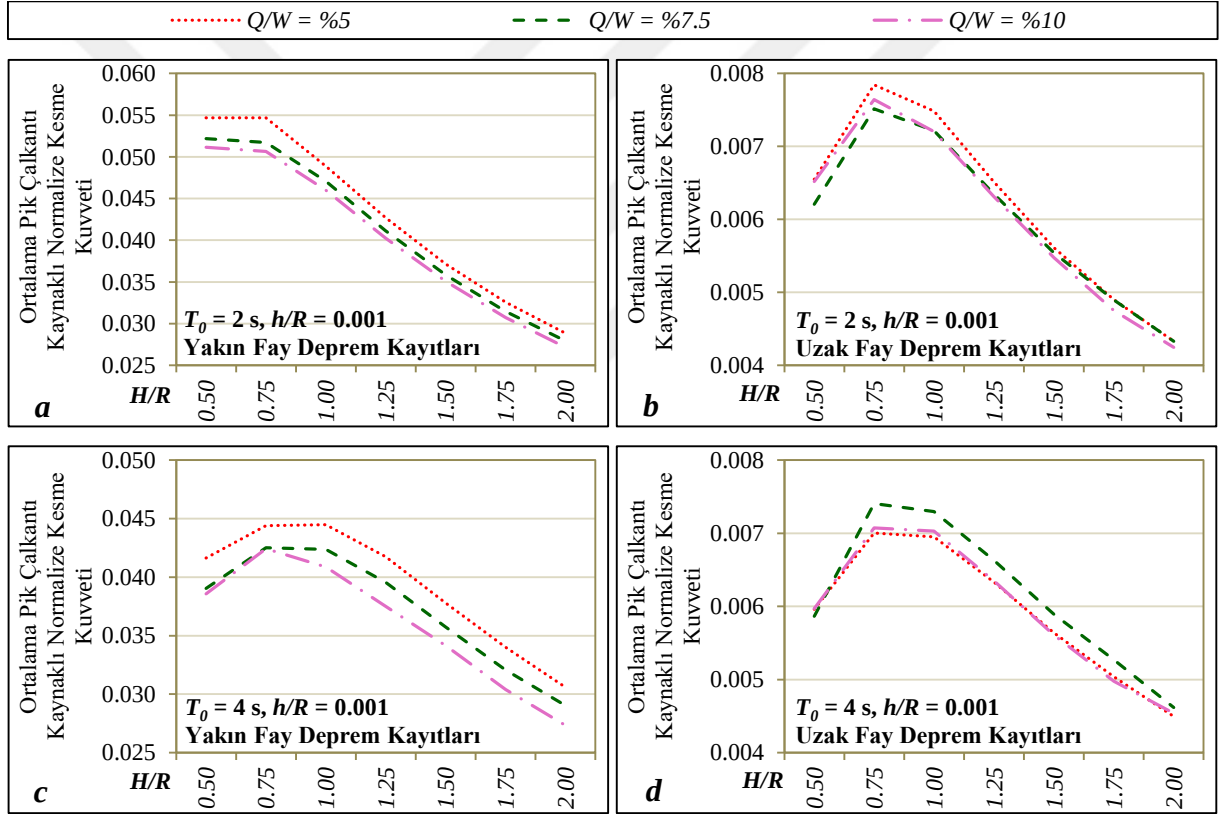
Şekil 4.15'teki grafikler incelendiğinde, $T_0 = 2$ s izolasyon periyoduna sahip sistemlerin yakın fay özelliği gösteren deprem kayıtları için karakteristik kuvvet oranı Q/W değerinin artmasının ortalama pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtlarını azalttığı, uzak fay özelliği gösteren deprem kayıtları için ise arttırdığı görülmüştür. $T_0 = 4$ s izolasyon periyoduna sahip sistemlerin hem yakın fay hem de uzak fay özelliği gösteren kayıtları için Q/W değerinin artması, yanıtları genel olarak arttırmıştır. Hem uzak fay hem de yakın fay deprem kayıtları için $T_0 = 2$ s izolasyon periyotlu sistemlerin ortalama pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtlarının $T_0 = 4$ s izolasyon periyotlu sistemlere nazaran daha büyük olduğu görülmüştür.



Şekil 4.15: (a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, yakın fay deprem kayıtları, (b) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, uzak fay deprem kayıtları, (c) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, yakın fay deprem kayıtları ve (d) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, uzak fay deprem kayıtları için elde edilen ortalama pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtları.

Şekil 4.16'daki grafiklere bakıldığında, $T_0 = 2$ s ve $T_0 = 4$ s izolasyon periyoduna sahip sistemlerin yakın fay özelliği gösteren deprem kayıtları için karakteristik kuvvet oranı Q/W değerinin artmasının ortalama pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtlarını

azalttığı, uzak fay özelliği gösteren deprem kayıtları için ise artış ve azalışlara sebep olabildiği görülmüştür. Yakın fay ve uzak fay kayıtları için $T_0 = 2$ s izolasyon periyotlu sistemlerin ortalama pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtlarının $T_0 = 4$ s izolasyon periyotlu sistemlere nazaran genellikle daha büyük olduğu ancak bazı yüksek H/R oranları için tersi durumun oluşabildiği görülmüştür. Burada elde edilen ortalama pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtları özellikle uzak fay deprem kayıtları için oldukça küçük değerler olsa da bu değerlerin karakteristik kuvvet oranı ve izolasyon periyodu parametrelerine bağlı olarak değişim oranları (Bakınız EK-5) mertebe olarak yakın fay deprem kayıtları için elde edilen oranlarla uyumludur.



Şekil 4.16: (a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, yakın fay deprem kayıtları, (b) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, uzak fay deprem kayıtları, (c) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, yakın fay deprem kayıtları ve (d) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, uzak fay deprem kayıtları için elde edilen ortalama pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtları.

4.1.4. Sentetik Yakın Fay Deprem Kayıtları Altında Sismik Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Özellikleri Malzeme ve Yöntem başlığı altında Bölüm 3.1 ve 3.2.1’de detaylı olarak anlatılan ilave viskoz sönümleyici kullanılmayan taban izolasyonlu sıvı depolama tankı modelleri,

Bölüm 3.3.2’de üretilmesine dair detaylar sunulan yakın fay özelliği gösteren 12 adet sentetik deprem kaydına ($M_w = 6.0$ ve $r = 3$ km, $M_w = 6.0$ ve $r = 5$ km, $M_w = 6.0$ ve $r = 7$ km, $M_w = 6.0$ ve $r = 9$ km, $M_w = 6.5$ ve $r = 3$ km, $M_w = 6.5$ ve $r = 5$ km, $M_w = 6.5$ ve $r = 7$ km, $M_w = 6.5$ ve $r = 9$ km, $M_w = 7.0$ ve $r = 3$ km, $M_w = 7.0$ ve $r = 5$ km, $M_w = 7.0$ ve $r = 7$ km ve $M_w = 7.0$ ve $r = 9$ km) maruz bırakılmıştır. Doğrusal olmayan sismik analizler sonucunda pik taban deplasmanı, pik çalkantı deplasmanı, pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti, pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti ve pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtları ((a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, (b) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.004$, (c) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$ ve (d) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.004$ özelliklerine sahip sistemler için) sırasıyla Şekil 4.17, 4.18, 4.19, 4.20 ve 4.21’de verilmiştir. Ayrıca, bu yanıtların yorumlanmasında kolaylık sağlaması açısından, $T_0 = 2$ s izolasyon periyoduna sahip sistem yanıtlarının $T_0 = 4$ s izolasyon periyodu için elde edilenlere oranlarının sunulduğu grafikler, farklı Q/W oranları için elde edilen yanıtların birbirlerine göre oranlarının sunulduğu grafikler ve $h/R = 0.001$ tank esnekliği için elde edilen yanıtların $h/R = 0.004$ tank esnekliği için elde edilenlere oranının alındığı grafikler EK-6’da sunulmuştur. Sunulan grafiklerde deprem kayıtları, fay hattına olan mesafenin artışına göre sıralanmış olup deprem büyüklüğüne göre de sınıflandırılmıştır.

Deprem kaydına ait moment büyüklüğü değerinin artmasıyla ve fay hattına olan mesafenin azalmasıyla pik taban deplasmanı, pik çalkantı deplasmanı, pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti, pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti ve pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtlarının arttıkları görülmüştür (Şekil 4.17, 4.18, 4.19, 4.20 ve 4.21).

Şekil 4.17’den görüleceği üzere deprem kaydına ait moment büyüklüğü M_w değerinin 7.0 olduğu durumda $T_0 = 4$ s izolasyon periyodu için pik taban deplasmanı yanıtları istisnasız olarak $T_0 = 2$ s izolasyon periyoduna sahip olma durumundan daha büyük değerler almıştır. Örneğin $M_w = 7.0$ ve $r = 3$ km deprem kaydı için $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, $Q/W = \%5$ ve $H/R = 0.50$ durumunda pik taban deplasmanı yanıtı 58.39 cm değerindeyken, aynı koşullarda $T_0 = 4$ s için 2.32 katına çıkarak 135.61 cm değerini almıştır (Şekil 4.17 (a ve c)). Ancak, deprem kaydına ait moment büyüklüğü M_w değerinin 6.0 ve 6.5 olduğu durumlarda ise genel olarak $T_0 = 4$ s izolasyon periyodu için pik taban deplasmanı yanıtları $T_0 = 2$ s izolasyon periyoduna sahip olma durumundan daha küçük değerler almıştır. Örneğin $M_w = 6.5$ ve $r = 3$ km deprem kaydı için $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, $Q/W = \%5$ ve $H/R = 0.50$ durumunda pik taban deplasmanı yanıtı 56.11 cm değerindeyken, aynı koşullarda $T_0 = 4$ s için 0.63 katına azalarak 35.48 cm değerini almıştır

(Şekil 4.17 (a ve c)). Bölüm 4.1.1 ve 4.1.3'ten elde edilen verilere göre yakın fay deprem kayıtları altında pik taban deplasmanı yanıtlarının $M_w = 7.0$ olduğu durumdaki gibi izolasyon periyodunun artması ile artması beklenmektedir. Ancak daha önce de belirtildiği gibi, taban izolasyonlu sıvı depolama tanklarına etki eden depremin puls periyodunun üstyapıya ait çalkantı modu periyodu, üstyapıya ait sıvı-tank modu periyodu ya da izolasyon periyodundan herhangi biriyle çakışması sonucunda beklenmedik durumlar oluşabilmektedir. Tez kapsamında dikkate alınan sentetik deprem kayıtlarının puls periyotları, Bölüm 3.2.2'de verilen Tablo 3.10'dan da görüleceği gibi $M_w = 6.0, 6.5$ ve 7.0 moment büyüklüğündeki deprem kayıtları için sırasıyla $T_p = 1.12$ s, 1.83 s ve 2.99 s'dir. Üstyapıya ait çalkantı modu periyotlarının (T_s) Bölüm 3.1, Tablo 3.2'de verildiği gibi farklı H/R oranları için 7.42 s - 6.33 s aralığında değiştikleri ve mertebe olarak deprem puls periyotlarından (T_p) daha büyük değerlere sahip oldukları görülmektedir. Üstyapıya ait sıvı-tank modu periyotlarının (T_f) ise Bölüm 3.1'de Tablo 3.3 ve 3.4'te verildiği gibi $h/R = 0.001$ ve $h/R = 0.004$ durumları için farklı H/R oranlarında sırasıyla, 0.16 s - 0.50 s ve 0.08 s - 0.26 s aralığında değerler aldıkları ve bu değerlerin de mertebe olarak puls periyotlarından (T_p) daha küçük olduğu görülmektedir. Öte yandan, çalışma kapsamında dikkate alınan $T_0 = 2$ s ve 4 s izolasyon periyodu değerlerinin efektif periyotları açısından ise puls periyotları ile oldukça yakın değerde oldukları ve bu değerlerle çakıştıkları görülmektedir. Örneğin $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, $Q/W = \%5$ ve $H/R = 0.50$ durumu için Bölüm 3.2.1, Tablo 3.5'ten de görüleceği gibi K_2 ve Q karakteristik parametreleri ile efektif ağırlık W değeri sırasıyla 47253.6 kN/m, 2347.6 kN ve 46952.2 kN'dur. Bu sistemin $M_w = 6.5$ ve $r = 3$ km deprem kaydı altında gerçekleştirilen analizi sonucunda pik taban deplasmanı değeri $D = 56.11$ cm = 0.56 m olarak bulunmuştur (Şekil 4.17(a)). Bu durumda efektif rijitlik değeri $K_{eff} = K_2 + Q/D = 47253.6 + 2347.6/0.56 = 51437.5$ kN/m olarak hesaplanmış ve efektif periyot değeri $T_{eff} = 2\pi/(K_{eff} \times g/W)^{1/2} = 2\pi/(51437.5 \times 9.81/46952.2) = 1.92$ s olarak bulunmuştur. $M_w = 6.5$ moment büyüklüğü için elde edilen bu efektif periyot değerinin ($M_w = 6.5$ için) 1.83 s olan puls periyodu değerine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, M_w değerinin 6.0 ve 6.5 olduğu durumlarda genel eğilimin tersinin gözlemlenmesinin nedeninin izolasyon periyodunun depremin puls periyodu ile çakışması olduğu görülmektedir. Şekil 4.18 ve 4.21'e bakıldığında ise, pik çalkantı deplasmanı ve pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtları açısından deprem kaydına ait moment büyüklüğü M_w değerinin 7.0 olduğu durumlarda $T_0 = 4$ s izolasyon periyodu için elde edilen yanıtların genel olarak $T_0 = 2$ s izolasyon periyodu için elde edilen yanıtlardan daha büyük olduğu görülmüştür. Örneğin $M_w =$

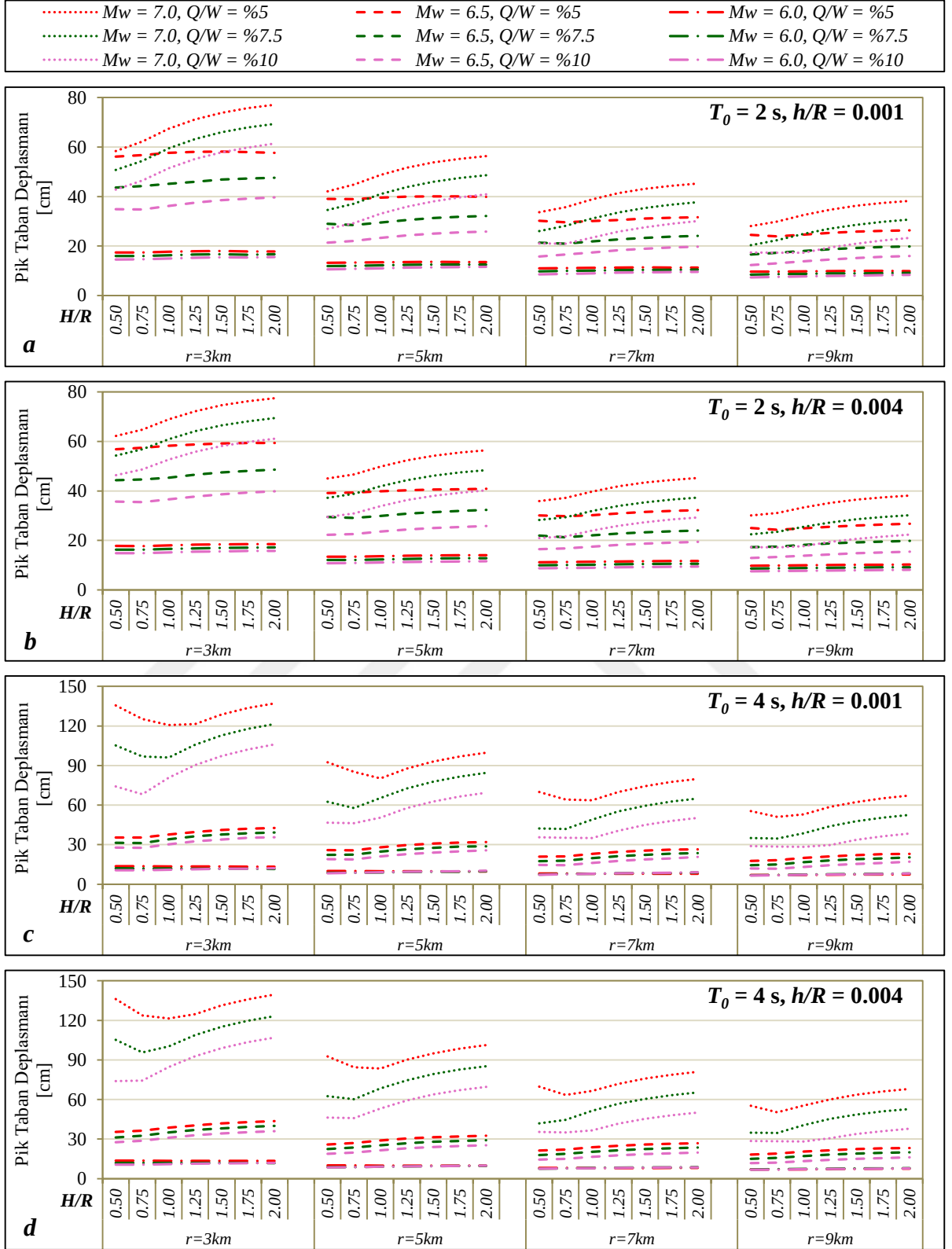
7.0 ve $r = 3$ km deprem kaydı için $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, $Q/W = \%5$ ve $H/R = 0.50$ durumunda pik çalkantı deplasmanı yanıtı 187.83 cm değerindeyken, aynı koşullarda $T_0 = 4$ s için 1.10 katına çıkarak 206.71 cm değerini almıştır (Şekil 4.18 (a ve c)). Deprem kaydına ait moment büyüklüğü M_w değerinin 6.0 ve 6.5 olduğu durumlarda ise $T_0 = 4$ s izolasyon periyodu için elde edilen yanıtların $T_0 = 2$ s izolasyon periyoduna sahip olma durumundan daha küçük değerler aldığı görülmüştür. Örneğin $M_w = 6.5$ ve $r = 3$ km deprem kaydı için $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, $Q/W = \%5$ ve $H/R = 0.50$ durumunda pik çalkantı deplasmanı yanıtı 89.94 cm değerindeyken, aynı koşullarda $T_0 = 4$ s için 0.56 katına azalarak 49.96 cm değerini almıştır (Şekil 4.18 (a ve c)). Önceden elde ettiğimiz bulgulara göre yakın fay deprem kayıtları altında pik çalkantı deplasmanı ve pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtlarının $M_w = 6.0$ ve 6.5 olduğu durumlardaki gibi izolasyon periyodunun artması ile azalması beklenmektedir (Bakınız Bölüm 4.1.1 ve 4.1.3). M_w değerinin 7.0 olduğu durumda bu genel eğilimin tersinin gözlemlenmesinin nedeni ise yukarıda açıklandığı gibi izolasyon periyodunun uygulanan depremin puls periyodu ile çakışmasıdır. Pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti ve pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtları ise tüm kayıtlar altında, $T_0 = 2$ s izolasyon periyodu için, $T_0 = 4$ s izolasyon periyoduna sahip olma durumlarından daha büyük değerler almıştır (Şekil 4.19 ve 4.20). Örneğin $M_w = 6.5$ ve $r = 3$ km deprem kaydı için $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, $Q/W = \%5$ ve $H/R = 0.50$ durumunda pik izolasyon sistemi kesme kuvveti yanıtının izolasyon sistemi üzerindeki toplam yapı ağırlığına oranı $\%26.38$ değerindeyken, $T_0 = 4$ s için 0.23 katına azalarak $\%5.97$ değerini almıştır (Şekil 4.19 (a ve c)). Ayrıntılı grafikler için EK-6'ya bakınız.

Sentetik deprem kayıtları altında pik taban deplasmanı yanıtlarının genel olarak artan Q/W oranı ile azaldığı görülmektedir (Şekil 4.17). Bu genel eğilimden farklı olarak, $T_0 = 4$ s izolasyon periyodu için deprem kaydına ait moment büyüklüğü M_w değerinin 6.0 olduğu bazı durumlarda Q/W oranındaki artış pik taban deplasmanını çok değiştirmemiş veya bir miktar arttırmıştır. Bu istisnai durumlara örnek olarak $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, $Q/W = \%5$ ve $H/R = 2.00$ olduğu durumda $M_w = 6.0$ ve $r = 7$ km deprem kaydı altında 8.02 cm değerinde olan pik taban deplasmanı yanıtı $Q/W = \%7.5$ için 1.10 katına çıkarak en fazla oransal artışı göstermiş ve 8.81 cm değerini almıştır. Pik çalkantı deplasmanı ve pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtları da benzer şekilde genel olarak artan Q/W oranı ile azalsa da deprem kaydına ait moment büyüklüğü M_w değerinin 6.0 ve 6.5 olduğu bazı durumlarda Q/W oranındaki artış yanıtları çok değiştirmemiş veya bir miktar (en fazla 1.21 katına çıkmıştır) arttırmıştır (Şekil 4.18 ve 4.21). Pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti ve pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti

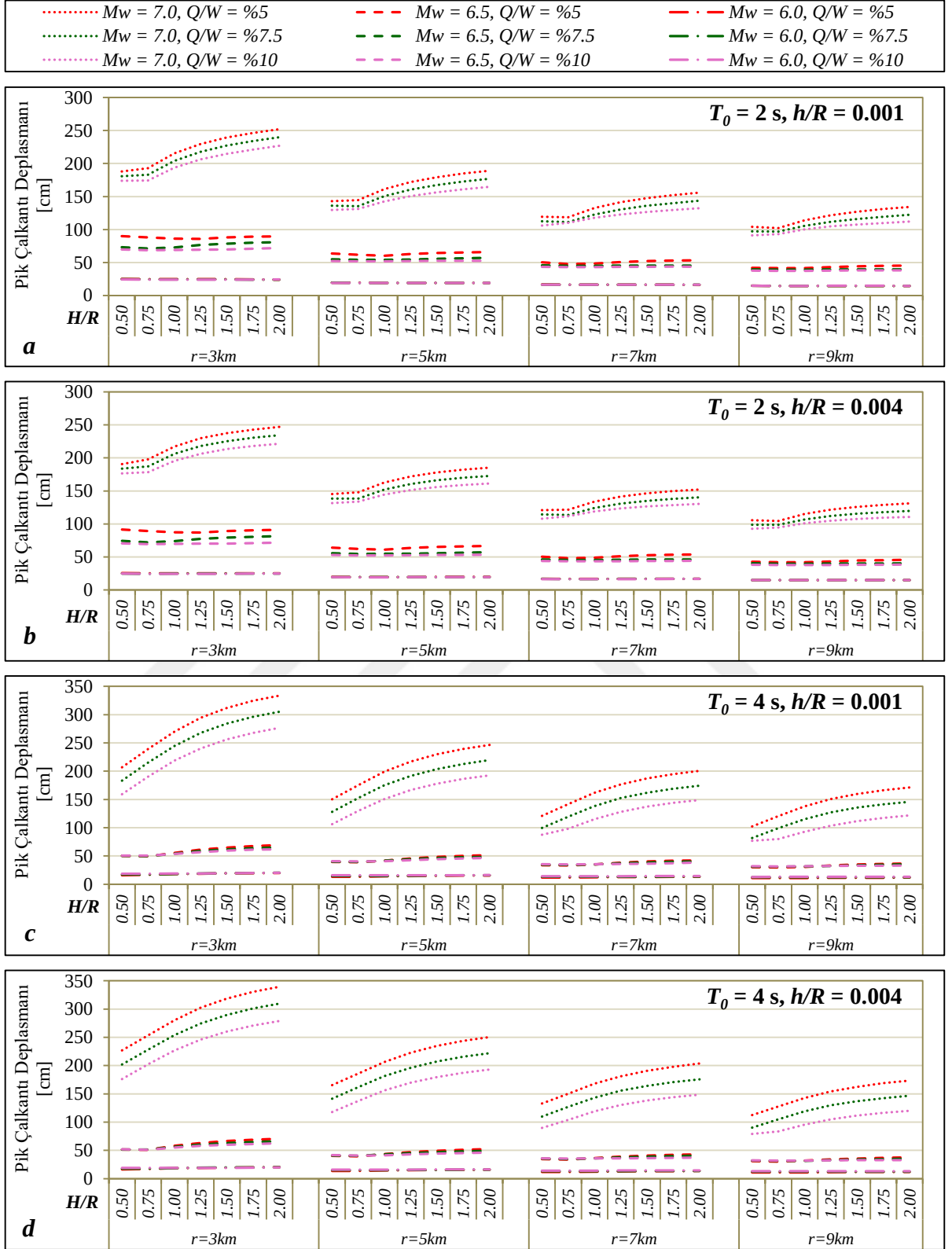
yanıtları ise $T_0 = 2$ s için 6.5 ve 7.0 büyüklüğündeki ve $T_0 = 4$ s için 7.0 büyüklüğündeki deprem kayıtları altında artan Q/W oranı ile azalmakta diğer durumlarda ise artmaktadır (Şekil 4.19 ve 4.20). Bu durum da izolasyon periyodunun depremin puls periyoduyla çakışmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıntılı grafikler için EK-6'ya bakınız.

H/R oranındaki değişimin pik taban deplasmanı ve pik çalkantı deplasmanı yanıtlarını etkilediği, bu orandaki artışın ilgili yanıtlarda bazı istisnai durumlar hariç artışa sebep olduğu görülmüştür (Şekil 4.17 ve 4.18). İstisnai durumlara örnek olarak, $M_w = 7.0$ ve $r = 3$ km deprem kaydı için $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, $Q/W = \%5$ ve $H/R = 0.50$ durumunda pik taban deplasmanı yanıtı 135.61 cm değerindeyken, $H/R = 1.00$ için 120.75 cm'e düşmüş ve $H/R = 2.00$ değerinde 137.19 cm'e çıkmıştır (Şekil 4.17 (c)). Pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti ve pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtları açısından ise, H/R oranındaki artışın yanıtları arttırdığı görülmüştür (Şekil 4.19 ve 4.20). H/R oranındaki artışın pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtlarını önce bir miktar arttırdığı ve ardından azalttığı görülmektedir (Şekil 4.21). Örneğin $M_w = 7.0$ ve $r = 3$ km deprem kaydı için $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, $Q/W = \%5$ ve $H/R = 0.50$ durumunda pik çalkantı kaynaklı kesme kuvveti yanıtının izolasyon sistemi üzerindeki toplam yapı ağırlığına oranı $\%8.63$ değerindeyken, $H/R = 1.00$ için $\%10.30$ 'a çıkmış ve $H/R = 2.00$ değerinde $\%7.25$ 'e düşmüştür (Şekil 4.21 (c)).

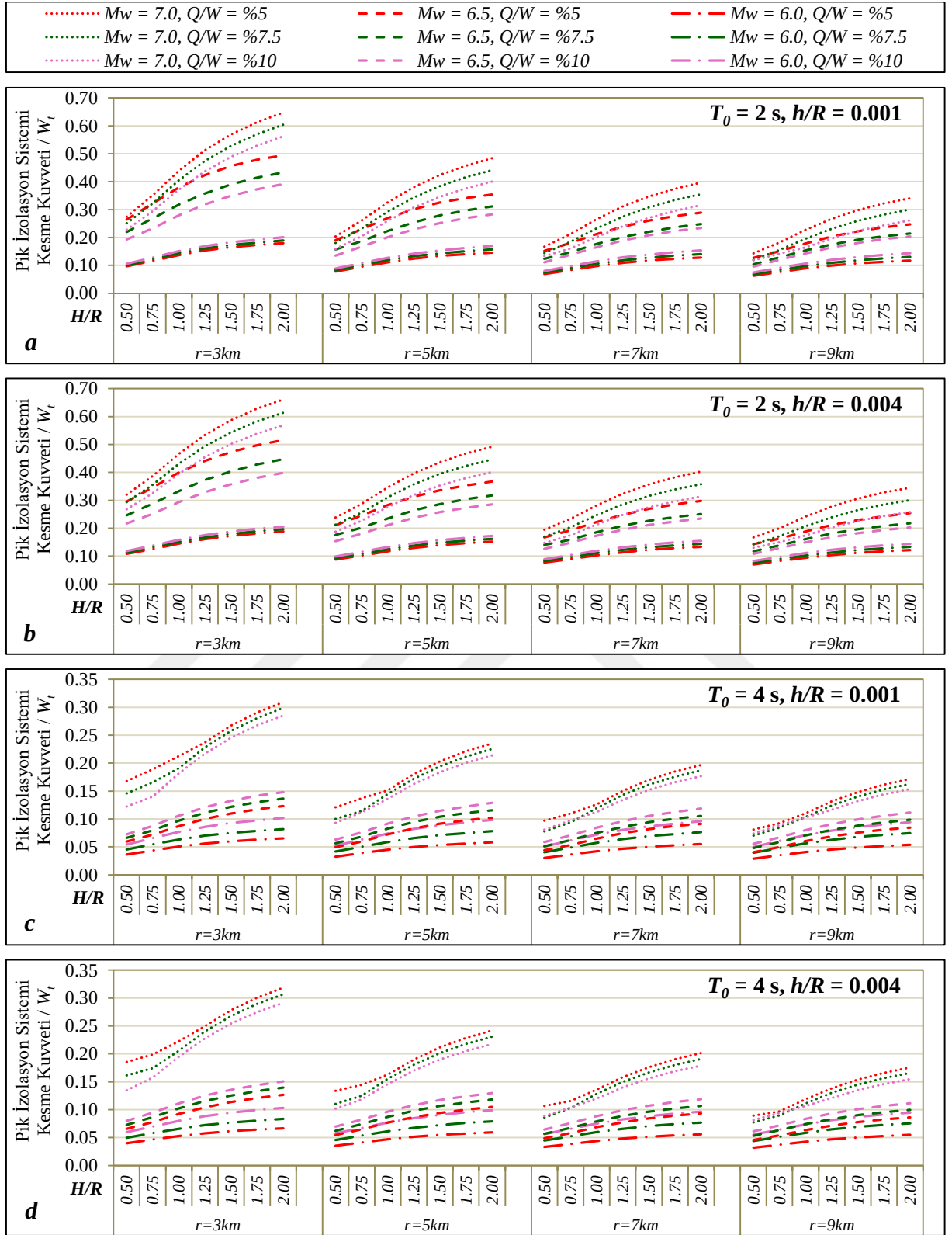
h/R oranının 0.001 veya 0.004 olma durumunun pik taban deplasmanı ve pik çalkantı deplasmanı yanıtlarını az miktarda (0.9 katından az) etkilediği, bu yanıtların genel olarak $h/R = 0.001$ olan sistemlere nazaran $h/R = 0.004$ olan sistemlerde daha büyük olduğu görülmektedir (Şekil 4.17 ve 4.18). Örneğin $M_w = 7.0$ ve $r = 9$ km deprem kaydı için $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, $Q/W = \%7.5$ ve $H/R = 0.50$ durumunda pik taban deplasmanı yanıtı 20.35 cm değerindeyken, aynı koşullar altında $h/R = 0.004$ için $\%10.32$ artarak 22.45 cm değerini almıştır (Şekil 4.17 (a ve b)). $M_w = 7.0$ ve $r = 3$ km deprem kaydı için $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, $Q/W = \%5$ ve $H/R = 0.50$ olma durumunda pik çalkantı deplasmanı yanıtı 206.71 cm değerindeyken, aynı koşullar altında $h/R = 0.004$ için $\%9.78$ artarak 226.92 cm değerini almıştır (Şekil 4.18 (c ve d)). Pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti yanıtları ise yine genel olarak $h/R = 0.004$ olan sistemlerde az miktarda (yaklaşık 1.0-1.2 katı kadar) daha büyük yanıtlar vermektedir (Şekil 4.19). Örneğin $M_w = 7.0$ ve $r = 9$ km deprem kaydı için $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, $Q/W = \%7.5$ ve $H/R = 0.50$ durumunda pik izolasyon sistemi kesme kuvveti yanıtının izolasyon sistemi üzerindeki toplam



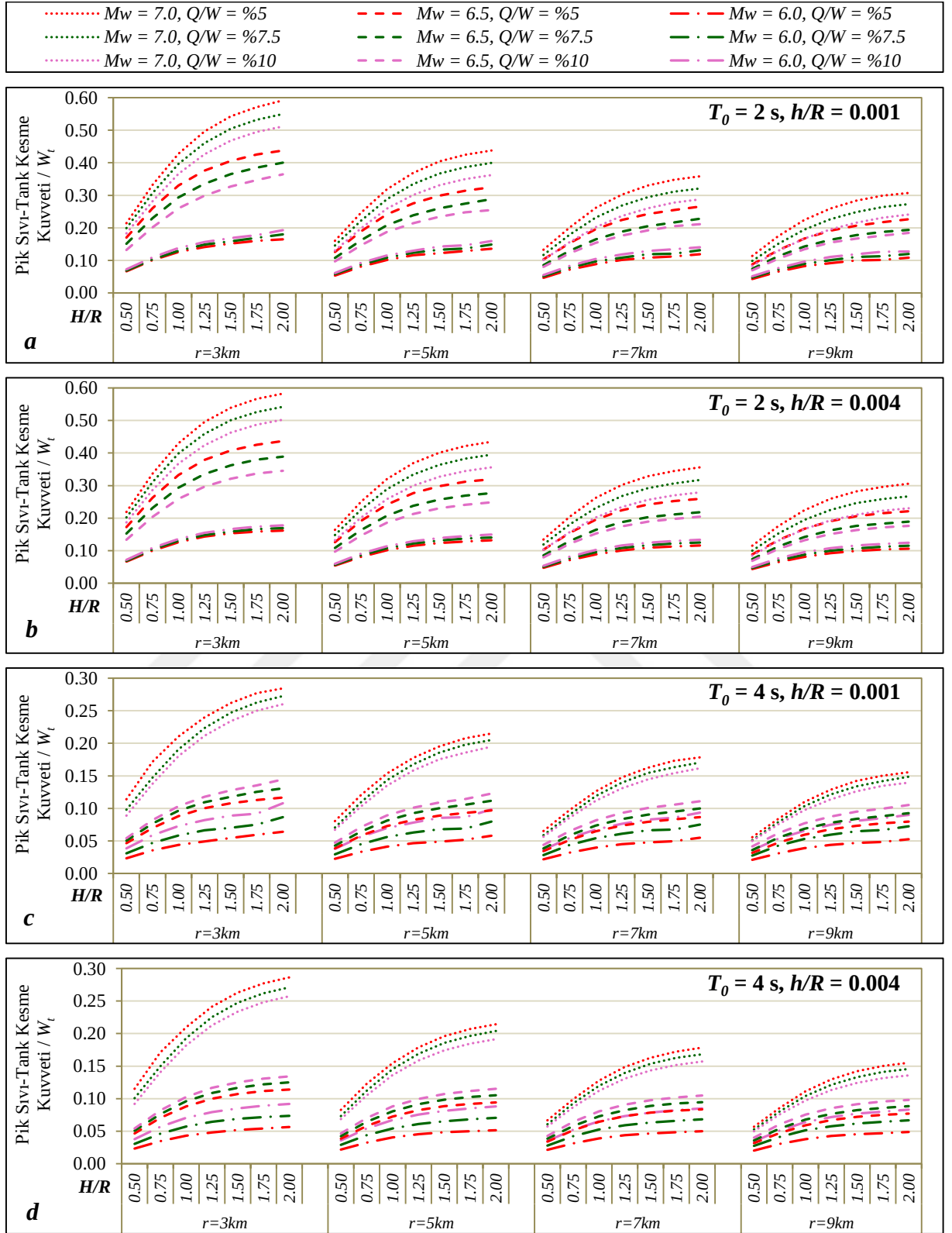
Şekil 4.17: Sentetik deprem kayıtları altında (a) $T_0 = 2 \text{ s}, h/R = 0.001$, (b) $T_0 = 2 \text{ s}, h/R = 0.004$, (c) $T_0 = 4 \text{ s}, h/R = 0.001$ ve (d) $T_0 = 4 \text{ s}, h/R = 0.004$ için elde edilen pik taban deplasmanı yanıtları.



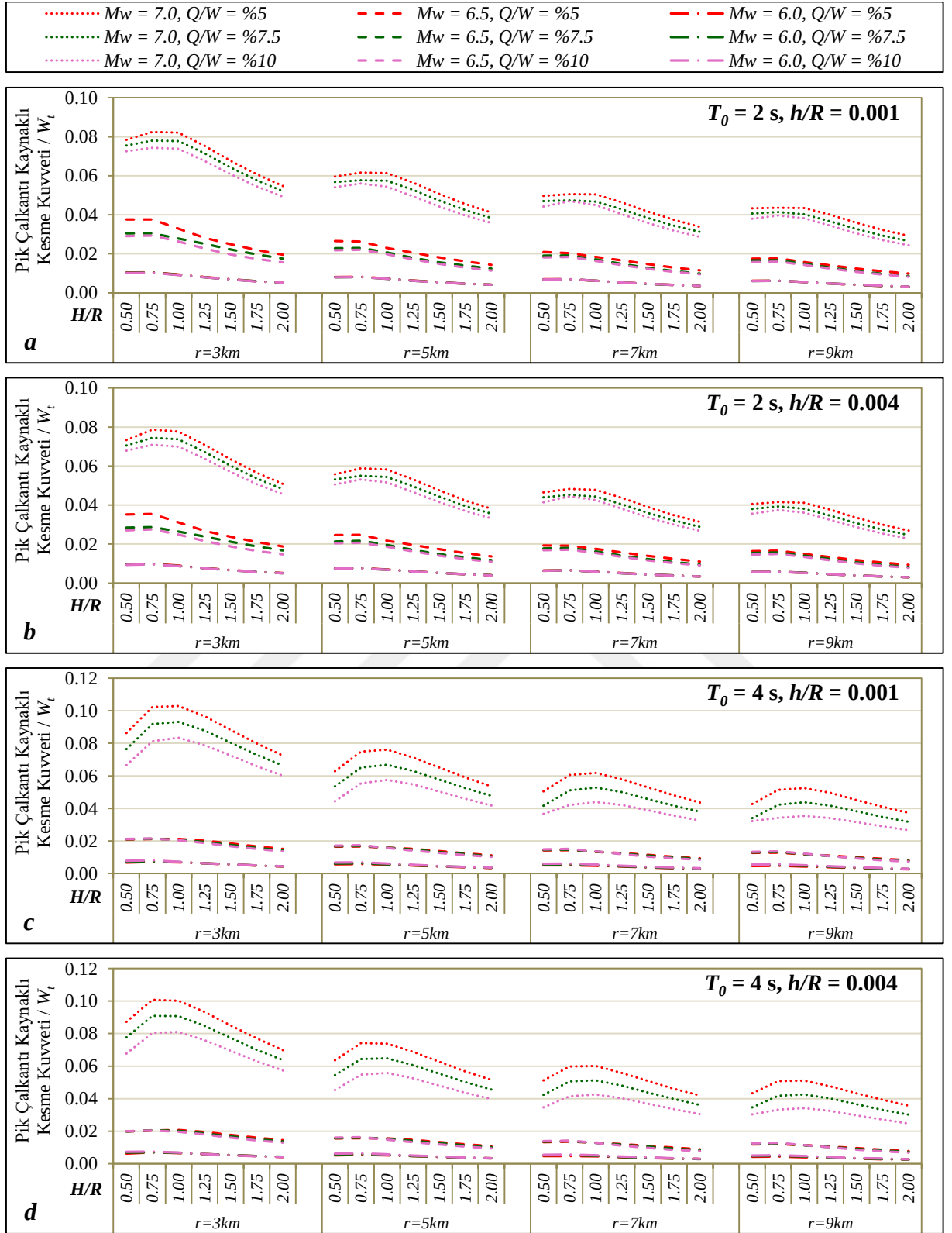
Şekil 4.18: Sentetik deprem kayıtları altında (a) $T_0 = 2 \text{ s}, h/R = 0.001$, (b) $T_0 = 2 \text{ s}, h/R = 0.004$, (c) $T_0 = 4 \text{ s}, h/R = 0.001$ ve (d) $T_0 = 4 \text{ s}, h/R = 0.004$ için elde edilen pik çalkantı deplasmanı yanıtları.



Şekil 4.19: Sentetik deprem kayıtları altında (a) $T_0 = 2 \text{ s}, h/R = 0.001$, (b) $T_0 = 2 \text{ s}, h/R = 0.004$, (c) $T_0 = 4 \text{ s}, h/R = 0.001$ ve (d) $T_0 = 4 \text{ s}, h/R = 0.004$ için elde edilen pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti yanıtları.



Şekil 4.20: Sentetik deprem kayıtları altında (a) $T_0 = 2 \text{ s}, h/R = 0.001$, (b) $T_0 = 2 \text{ s}, h/R = 0.004$, (c) $T_0 = 4 \text{ s}, h/R = 0.001$ ve (d) $T_0 = 4 \text{ s}, h/R = 0.004$ için elde edilen pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtları.



Şekil 4.21: Sentetik deprem kayıtları altında (a) $T_0 = 2 \text{ s}$, $h/R = 0.001$, (b) $T_0 = 2 \text{ s}$, $h/R = 0.004$, (c) $T_0 = 4 \text{ s}$, $h/R = 0.001$ ve (d) $T_0 = 4 \text{ s}$, $h/R = 0.004$ için elde edilen pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtları.

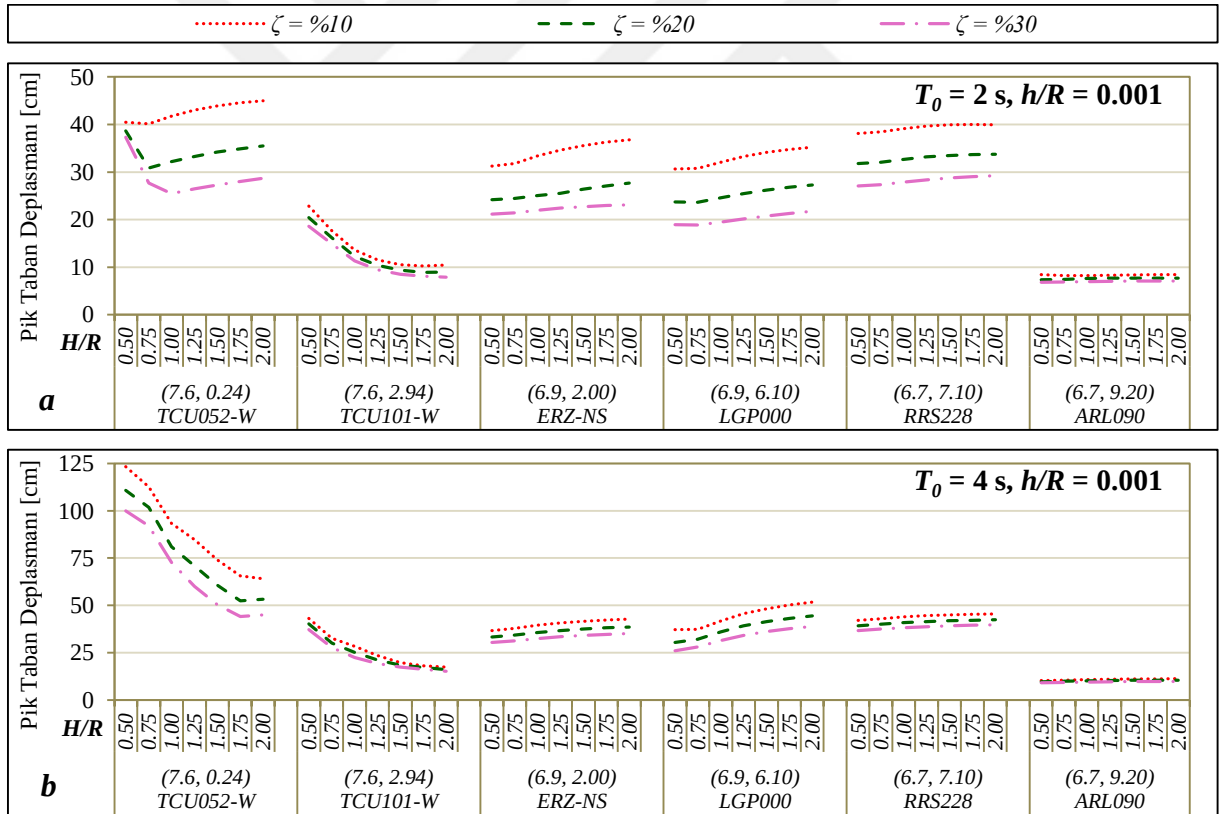
yapı ağırlığına oranı %11.98 değerindeyken, aynı koşullar altında $h/R = 0.004$ için %18.75 artarak %14.22 değerini almıştır (4.19 (a ve b)). Şekil 4.20'ye bakıldığında ise pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtlarının h/R değişimine bağlı olarak belirgin bir artış veya azalışının olmadığı, değişimin yaklaşık 1.17 katına kadar çıkabildiği görülmektedir. $T_0 = 4$ s, $M_w = 6.0$, $r = 3$ km, $Q/W = \%7.5$ ve $H/R = 2.00$ olan sistemde $h/R = 0.001$ için pik sıvı-tank kesme kuvveti yanıtının izolasyon sistemi üzerindeki toplam yapı ağırlığına oranı %8.64 değerindeyken, $h/R = 0.004$ için %14.70'lik bir azalış göstererek %7.37 değerine düşmüştür. Öte yandan $T_0 = 4$ s, $M_w = 7.0$, $r = 3$ km, $Q/W = \%10$ ve $H/R = 0.50$ olan sistemde $h/R = 0.001$ için pik sıvı-tank kesme kuvveti yanıtının izolasyon sistemi üzerindeki toplam yapı ağırlığına oranı %8.87 değerindeyken, $h/R = 0.004$ için %3.72'lik bir artış göstererek %9.20 değerine çıkmıştır. Pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtları ise $h/R = 0.004$ olan sistemlere nazaran $h/R = 0.001$ olan sistemlerde az miktarda da olsa (yaklaşık 1.1 katına kadar) daha büyük değerler almıştır (Şekil 4.21). Ayrıntılı grafikler için EK-6'ya bakınız.

4.2. İLAVE VİSKOZ SÖNÜMLEYİCİ KULLANILAN TABAN İZOLASYONLU SIVI DEPOLAMA TANKLARININ SİSMİK ANALİZ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Özellikleri, Malzeme ve Yöntem başlığı altında Bölüm 3.1 ve 3.2.2'de detaylı olarak anlatılan $\zeta = \%10$, $\%20$ ve $\%30$ ilave viskoz sönüm oranlarına sahip taban izolasyonlu sıvı depolama tankı modelleri, yakın fay özelliği gösteren TCU052-W, TCU101-W, ERZ-NS, LGP000, RRS228 ve ARL090 tarihi deprem kayıtları, uzak fay özelliği gösteren CHY029-W, BRN-090, CAP000, WAH-090, RO3-090 ve SSU-090 tarihi deprem kayıtları (Bakınız Bölüm 3.3.1) ile moment büyüklüklerinin (M_w) 6.0, 6.5 ve 7.0 olması ve yapının fay hattına olan en yakın mesafesinin (r) 3, 5, 7 ve 9 km olarak kabul edilmesi durumlarının her biri için elde edilen sentetik deprem kayıtlarına (Bakınız Bölüm 3.3.2) maruz bırakılmıştır. Doğrusal olmayan sismik analizler sonucunda elde edilen yapısal yanıtlar aşağıdaki bölümlerde sunulmuş ve irdelenmiştir. Ayrıca, Bölüm 4.1'de sunulan verilerin değerlendirilmesi sonucunda h/R oranının 0.001 veya 0.004 olmasının yapısal yanıtlara olan etkisinin diğer parametrelere kıyasla çok daha az olduğu görüldüğünden, bu kısımda h/R oranının sadece 0.001 olduğu durum incelenmiştir.

4.2.1. Tarihi Yakın Fay Deprem Kayıtları Altında Sismik Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

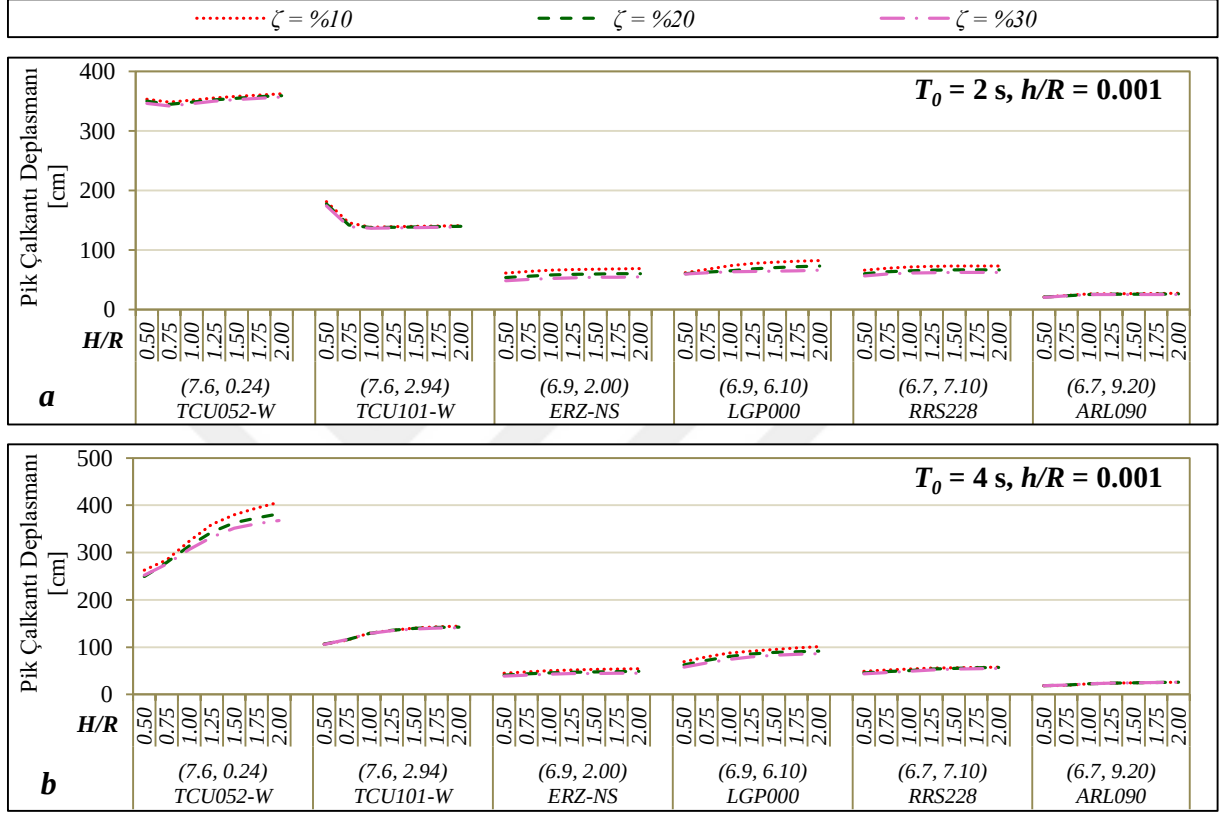
İlave viskoz sönümleyici kullanılan ($\zeta = \%10, \%20$ ve $\%30$) taban izolasyonlu sıvı depolama tankı modellerinin yakın fay özelliği sergileyen TCU052-W, TCU101-W, ERZ-NS, LGP000, RRS228 ve ARL090 deprem kayıtları altında gerçekleştirilen doğrusal olmayan sismik analizleri sonucunda elde edilen pik taban deplasmanı, pik çalkantı deplasmanı, pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti, pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti ve pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtları ((a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$ ve (b) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$ özelliklerine sahip sistemler için) sırasıyla Şekil 4.22, 4.23, 4.24, 4.25 ve 4.26’da verilmiştir. Ayrıca, bu yanıtların yorumlanmasında kolaylık sağlaması açısından, $T_0 = 2$ s izolasyon periyoduna sahip sistem yanıtlarının $T_0 = 4$ s izolasyon periyodu için elde edilenlere



Şekil 4.22: Yakın fay deprem kayıtları altında ilave viskoz sönümleyici kullanılan (a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$ ve (b) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$ sistemler için elde edilen pik taban deplasmanı yanıtları.

oranlarının sunulduğu grafikler ile $\zeta = \%10, \%20$ ve $\%30$ parametreleri için elde edilen yanıtların $Q/W = \%5$ karakteristik kuvvet oranına sahip sistemler (yani $\zeta = \%0$) için elde edilen yanıtlara oranlarının verildiği grafikler EK-7’de sunulmuştur. Mevcut şekillerde sunulan

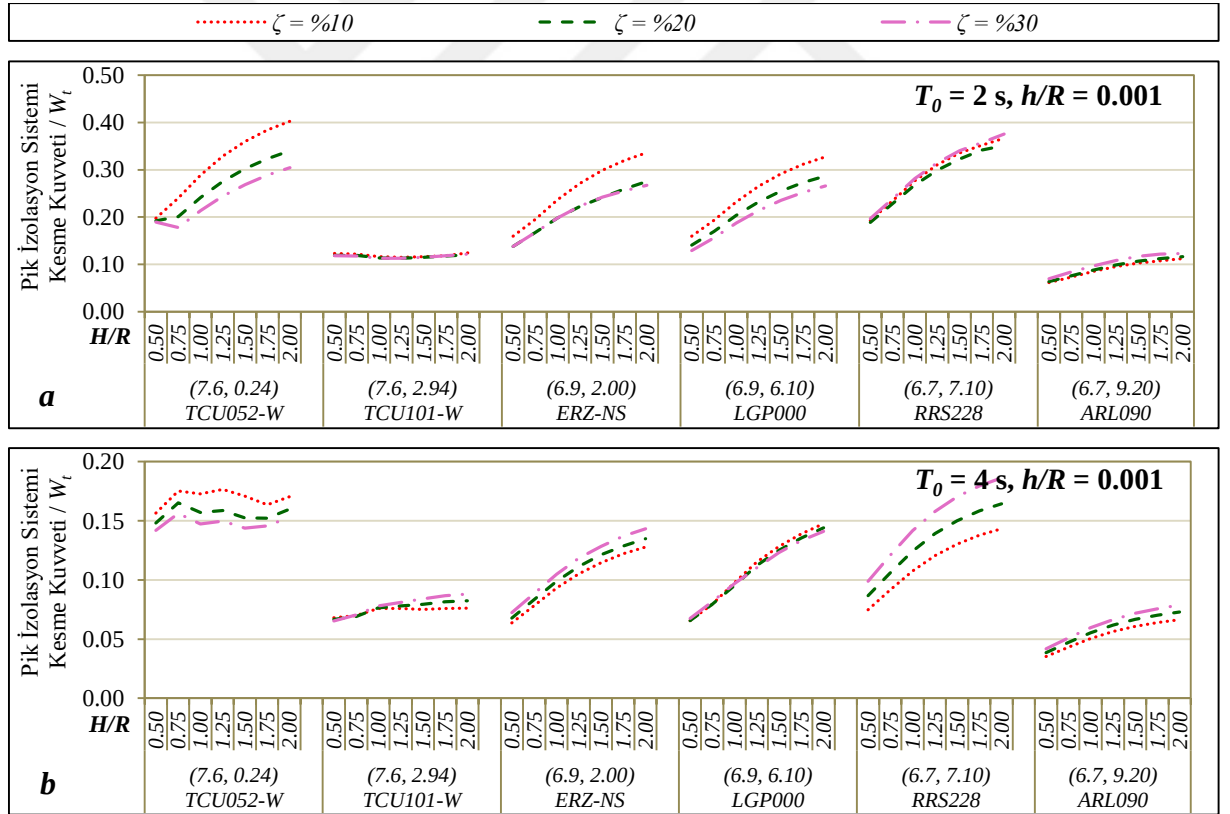
deprem kayıtları, öncelikle moment büyüklüğünün azalması ve ardından her bir moment büyüklüğü değerinde fay hattına olan mesafenin artmasına göre sıralanmıştır. Bu kapsamda, parantez içerisinde verilen sayılar her bir deprem kaydı için sırasıyla moment büyüklüğü (M_w) ve faya en yakın mesafeyi (r) göstermektedir.



Şekil 4.23: Yakın fay deprem kayıtları altında ilave viskoz sönümleyici kullanılan (a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$ ve (b) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$ sistemler için elde edilen pik çalkantı deplasmanı yanıtları.

Fay hattına olan mesafe arttıkça ve deprem kaydına ait moment büyüklüğü değeri azaldıkça pik taban deplasmanı yanıtlarının genel olarak azalma eğiliminde olduğu ancak deprem karakteristik özellikleri etkisiyle farklılıklar içerebildiği görülmüştür (Şekil 4.22). Bu farklılıklara örnek olarak $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$ durumunda $M_w = 7.6$ ve $r = 2.94$ km özelliklerine sahip TCU101-W deprem kaydı için elde edilen pik taban deplasmanı yanıtlarının $M_w = 6.7$ ve $r = 7.10$ km özelliklerine sahip RRS228 deprem kaydına ait pik taban deplasmanı yanıtlarından daha küçük değerler alması verilebilir (Şekil 4.22 (a)). Pik çalkantı deplasmanı yanıtlarının ise deprem kaydı moment büyüklüğü azaldıkça ve her moment büyüklüğü değeri için fay hattına olan mesafe arttıkça belirgin şekilde azalma eğiliminde olduğu ancak bazı nadir durumlarda deprem karakteristik özellikleri etkisiyle bir miktar artabildiği görülmüştür (Şekil 4.23). Örneğin $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$ durumunda $M_w = 6.9$ ve $r = 2.00$ km özelliklerine sahip ERZ-NS

deprem kaydı için elde edilen pik çalkantı deplasmanı yanıtları $M_w = 6.9$ ve $r = 6.10$ km özelliklerine sahip LGP000 deprem kaydına ait pik çalkantı deplasmanı yanıtlarından daha küçük değerler almıştır (Şekil 4.23 (b)). Pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti ve pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtlarının deprem kaydı moment büyüklüğü azaldıkça ve her moment büyüklüğü değeri için fay hattına olan mesafe arttıkça azalma eğiliminde olduğu ancak bazı durumlarda deprem karakteristik özelliklerine bağlı olarak artabildiği görülmüştür (Şekil 4.24 ve 4.25). Örneğin $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$ durumunda $M_w = 7.6$ ve $r = 2.94$ km özelliklerine sahip TCU101-W deprem kaydı için elde edilen normalize pik izolasyon sistemi kesme kuvveti yanıtları $M_w = 6.9$ ve $r = 6.10$ km özelliklerine sahip LGP000 deprem kaydına ait olanlardan daha küçük değerler almıştır (Şekil 4.24 (a)). Pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtları ise deprem kaydı moment büyüklüğü azaldıkça ve her moment büyüklüğü değeri için fay hattına olan mesafe arttıkça azalma eğiliminde olduğu görülmüştür



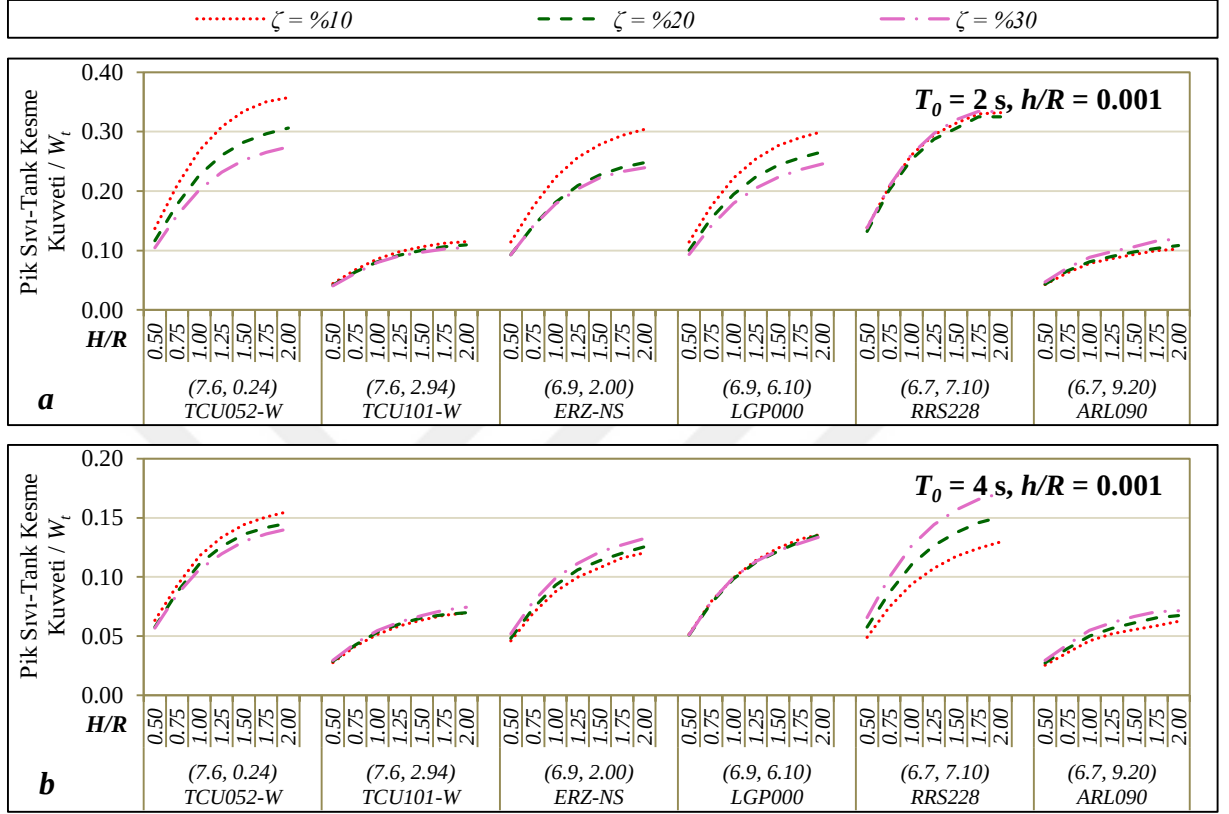
Şekil 4.24: Yakın fay deprem kayıtları altında ilave viskoz sönümleyici kullanılan (a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$ ve (b) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$ sistemler için elde edilen pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti yanıtları.

(Şekil 4.26). Depremin karakteristik özelliğine bağlı olarak bu genel eğilimin dışına çıkıldığı nadir durumlar da vardır. Örneğin $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$ durumunda $M_w = 6.9$ ve $r = 2.00$ km

özelliklerine sahip ERZ-NS deprem kaydı için elde edilen pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtları $M_w = 6.9$ ve $r = 6.10$ km özelliklerine sahip LGP000 deprem kaydına ait pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtlarından daha küçük değerler almıştır (Şekil 4.26 (b)).

Şekil 4.22'den görüleceği üzere $T_0 = 2$ s izolasyon periyodu için (Şekil 4.22 (a)) pik taban deplasmanı yanıtları istisnasız olarak $T_0 = 4$ s izolasyon periyoduna sahip olan sistemlerden (Şekil 4.22 (b)) daha küçük değerler almıştır. Örneğin TCU052-W deprem kaydı etkisi altında $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, $H/R = 0.50$ ve $\zeta = \%10$ durumunda pik taban deplasmanı yanıtı 40.49 cm değerindeyken, $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, $H/R = 0.50$ ve $\zeta = \%10$ durumu için %204.39 artarak 123.24 cm değerini almıştır (Şekil 4.22 (a ve b)). İzolasyon periyodundaki artışın pik çalkantı deplasmanı yanıtlarını genel bir eğilim olarak azalttığı, ancak bazı durumlarda bu genel eğilimin dışına çıkıldığı görülmüştür (Şekil 4.23). Örneğin TCU052-W deprem kaydı için $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, $H/R = 0.50$ ve $\zeta = \%30$ durumunda pik çalkantı deplasmanı yanıtı 346.20 cm değerindeyken, aynı koşullarda genel eğilime uygun olarak $T_0 = 4$ s için %27.23'lük bir azalışla 251.94 cm değerine düşmüştür. Öte yandan, LGP000 deprem kaydı etkisi altında $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, $H/R = 2.00$ ve $\zeta = \%30$ durumunda ise 66.24 cm değerindeyken, aynı koşullarda $T_0 = 4$ s için %29.79 artarak 85.98 cm değerine çıkmıştır (Şekil 4.23 (a ve b)). Pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti ve pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtlarının tümü Şekil 4.24 ve 4.25'ten görüleceği üzere $T_0 = 2$ s izolasyon periyodu için $T_0 = 4$ s izolasyon periyoduna sahip olma durumundan daha büyük değerler almıştır. Örneğin RRS228 deprem kaydı için $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, $H/R = 0.50$ ve $\zeta = \%30$ durumunda pik izolasyon sistemi kesme kuvveti yanıtının izolasyon sistemi üzerindeki toplam yapı ağırlığına oranı %19.68 değerindeyken, aynı koşullarda $T_0 = 4$ s için %49.73'lük bir azalışla %9.89 değerini almıştır (Şekil 4.24 (a ve b)). Pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtlarının ise pik çalkantı deplasmanı yanıtları ile benzer eğilim göstererek genel olarak $T_0 = 2$ s izolasyon periyodu için $T_0 = 4$ s izolasyon periyoduna sahip olma durumundan daha büyük değerler aldığı, ancak bu durumun istisnalar içerebildiği görülmüştür (Şekil 4.26). Örneğin TCU101-W deprem kaydı için $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, $H/R = 0.50$ ve $\zeta = \%10$ durumunda pik çalkantı kaynaklı kesme kuvveti yanıtının izolasyon sistemi üzerindeki toplam yapı ağırlığına oranı %7.56 değerindeyken, $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, $H/R = 0.50$ ve $\zeta = \%10$ durumunda %41.25 azalarak %4.44 değerini almıştır (Şekil 4.26 (a ve b)). İstisnai duruma örnek olarak, LGP000 deprem kaydı için $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, $H/R = 2.00$ ve $\zeta = \%10$ durumunda pik çalkantı kaynaklı kesme kuvveti yanıtının izolasyon sistemi

üzerindeki toplam yapı ağırlığına oranı %1.78 değerindeyken, aynı koşullarda $T_0 = 4$ s izolasyon periyodu için %23.13'lük bir artışla %2.19 değerini almıştır (Şekil 4.26 (a ve b)). Ayrıntılı grafikler için EK-7'ye bakınız.

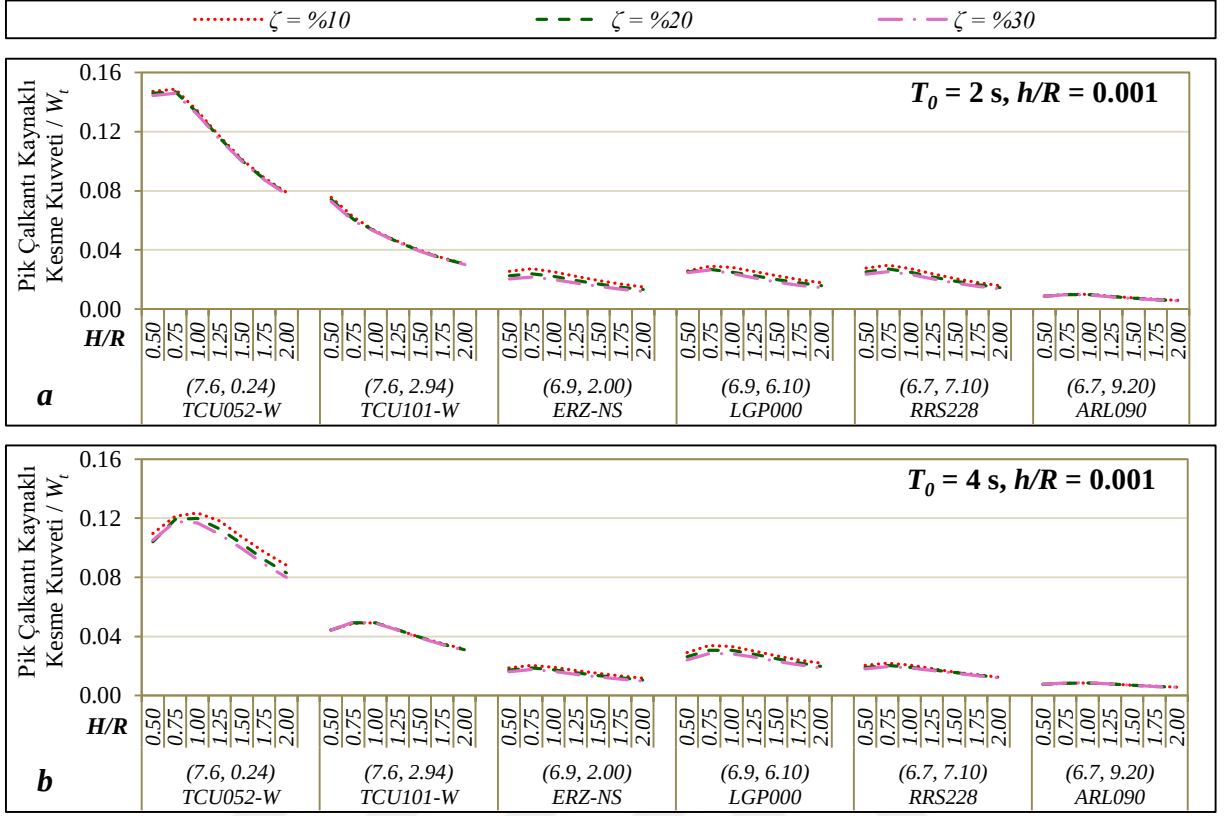


Şekil 4.25: Yakın fay deprem kayıtları altında ilave viskoz sönümleyici kullanılan (a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$ ve (b) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$ sistemler için elde edilen pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtları.

Yakın fay tarihi deprem kayıtları altında pik taban deplasmanı yanıtları genel olarak ζ oranının %10 olduğu durumda en yüksek değerini alma ve ζ oranının %30 olduğu durumda en düşük değerini alma eğilimindedir (Şekil 4.22). Pik çalkantı deplasmanı yanıtları, ζ oranının artmasıyla çoğu durumda azalmaktadır (Şekil 4.23). Ancak, artan ζ ile pik çalkantı deplasmanlarının değişmediği durumlar da gözlenmiştir: Örneğin $T_0 = 4$ s izolasyon periyoduna sahip sistemlerde $h/R = 0.001$ durumu için (Şekil 4.23 (b)) ARL090 deprem kaydı etkisi altında $H/R = 0.50$ ve $\zeta = \%10$, $\%20$ ve $\%30$ durumlarında sırasıyla 18.32 cm, 18.34 cm ve 18.41 cm değerlerini almışlardır. Pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti ve pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtlarının ζ oranının artmasıyla farklı deprem kayıtları için azalabildiği veya artabildiği görülmüş olup genel bir eğilim belirlenememiştir (Şekil 4.24 ve 4.25). Şekil 4.26'dan da görülebileceği üzere yakın fay tarihi deprem kayıtları altında pik

çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtları genel olarak ζ oranının artışı ile azalma eğilimindedirler. Ancak bazı durumlarda önemli değişimlerin olmadığı, hatta arttığı durumlar da gözlenmiştir. Örneğin $T_0 = 4$ s ve $h/R = 0.001$ durumu için TCU101-W deprem kaydı altında ζ oranının %5'ten %7.5'e ve %7.5'ten %10'a değişiminin %1'i geçmediği görülmektedir. Ayrıntılı grafikler için EK-7'ye bakınız.

H/R oranındaki artışın pik taban deplasmanı yanıtlarını depremin karakteristik özelliklerine bağlı olarak arttırabildiği gibi azaltabildiği de görülmektedir (Şekil 4.22). Genel bir eğilim söz konusu olmamakla birlikte H/R oranının taban deplasmanı üzerinde önemli etkilerinin olabileceği anlaşılmaktadır. Örneğin TCU052-W deprem kaydı için $T_0 = 4$ s, $h/R=0.001$, $\zeta = \%10$ ve $H/R = 0.50$ durumunda pik taban deplasmanı yanıtı 123.24 cm değerindeyken, $H/R = 2.00$ değeri için %48.04 azalarak 64.03 cm değerine düşmüştür (Şekil 4.22 (b)). Buna karşılık LGP000 deprem kaydı etkisi altında $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, $\zeta = \%10$ ve $H/R = 0.50$ durumunda pik taban deplasmanı yanıtı 37.13 cm değerindeyken, $H/R = 2.00$ değeri için %39.40 artarak 51.77 cm değerine çıkmıştır (Şekil 4.22 (b)). H/R oranındaki artışın pik çalkantı deplasmanı yanıtlarını genel olarak arttırdığı görülmektedir (Şekil 4.23). Ancak bazı depremler için bu durumun tersinin gözleendiği haller mevcuttur. Örneğin TCU052-W deprem kaydı için $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, $\zeta = \%10$ ve $H/R = 0.50$ durumunda pik çalkantı deplasmanı yanıtı 262.89 cm değerindeyken, $H/R = 2.00$ değeri için %54.59 artarak 406.40 cm değerine çıkmıştır (Şekil 4.23 (b)). Buna karşılık TCU101-W deprem kaydı etkisi altında $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, $\zeta = \%10$ ve $H/R = 0.50$ olma durumunda pik çalkantı deplasmanı yanıtı 181.31 cm değerindeyken, $H/R = 2.00$ değeri için %22.39 azalarak 140.72 cm değerine düşmüştür (Şekil 4.23 (a)). H/R oranındaki artışın pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti ve pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtlarını arttırdığı görülmektedir (Şekil 4.24 ve 4.25). Örneğin TCU052-W deprem kaydı için $T_0 = 2$ s, $h/R=0.001$, $\zeta = \%10$ ve $H/R = 0.50$ durumunda pik izolasyon sistemi kesme kuvveti yanıtının izolasyon sistemi üzerindeki toplam yapı ağırlığına oranı %19.73 değerindeyken, $H/R = 2.00$ için %103.87'lik bir artış göstererek %40.23 değerine çıkmıştır (Şekil 4.24 (a)). Pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtlarının, depremin karakteristik özelliklerine bağlı olmakla birlikte genellikle H/R oranındaki artışa paralel olarak önce bir miktar arttığı ve sonra H/R 'deki devam eden artışla azaldığı görülmektedir (Şekil 4.26). Örneğin TCU052-W deprem kaydı için $T_0 = 4$ s, $h/R=0.001$, $\zeta = \%30$ ve $H/R = 0.50$ durumunda pik çalkantı kaynaklı kesme kuvveti yanıtının izolasyon sistemi üzerindeki toplam yapı ağırlığına oranı %10.51 değerindeyken, $H/R = 0.75$ için %11.77 değerine çıkmıştır ve ardından



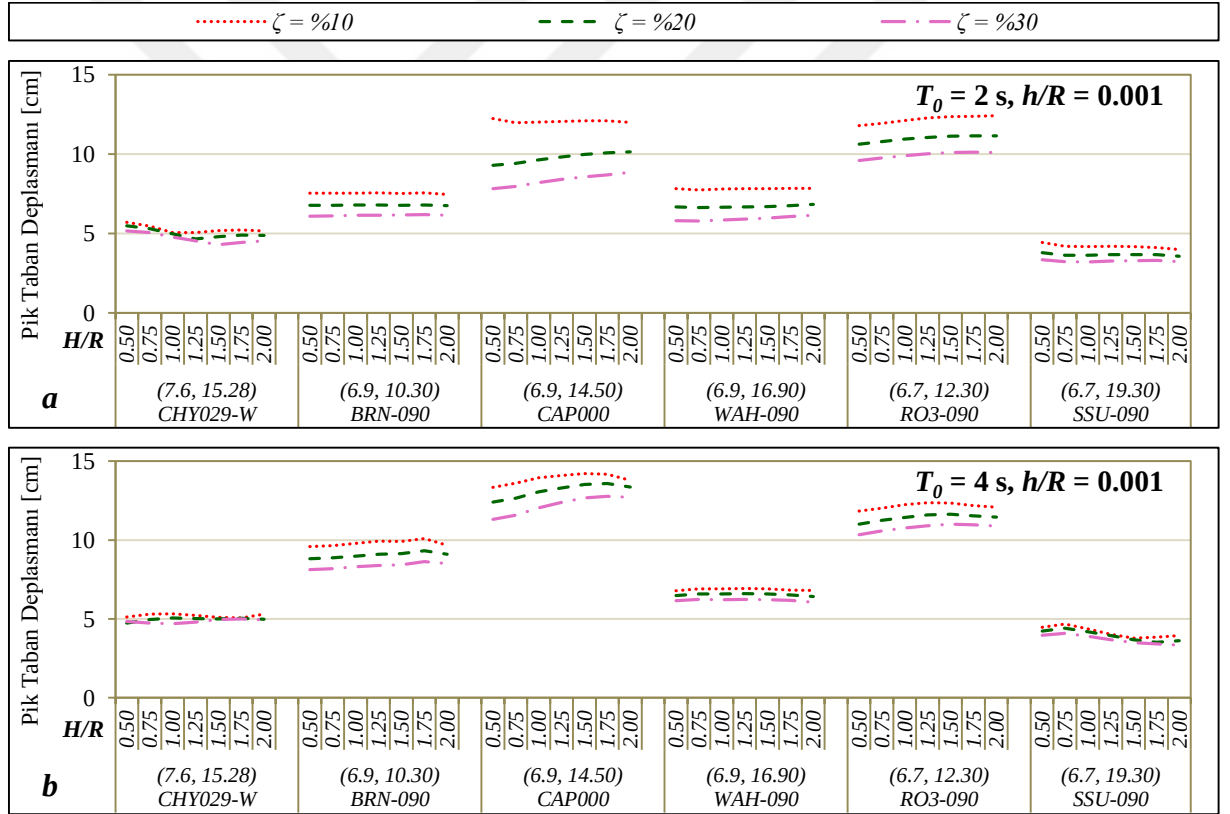
Şekil 4.26: Yakın fay deprem kayıtları altında ilave viskoz sönümleyici kullanılan (a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$ ve (b) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$ sistemler için elde edilen pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtları.

azalarak $H/R = 2.00$ için %7.99 değerine düşmüştür (Şekil 4.26 (b)). Bazı durumlarda ise H/R oranındaki artış ile yanıtın monotonik olarak azaldığı da görülmektedir. Örneğin TCU101-W deprem kaydı için $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, $\zeta = \%10$ ve $H/R = 0.50$ durumunda pik çalkantı kaynaklı kesme kuvveti yanıtının izolasyon sistemi üzerindeki toplam yapı ağırlığına oranı %7.56 değerindeyken, gitgide azalarak $H/R = 2.00$ için (%59.58 azalarak) %3.06 değerine inmiştir (Şekil 4.26 (a)).

4.2.2. Tarihi Uzak Fay Deprem Kayıtları Altında Sismik Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

İlave viskoz sönümleyici kullanılan ($\zeta = \%10$, $\%20$ ve $\%30$) taban izolasyonlu sıvı depolama tankı modellerinin uzak fay özelliği sergileyen CHY029-W, BRN-090, CAP000, WAH-090, RO3-090 ve SSU-090 deprem kayıtları altında gerçekleştirilen doğrusal olmayan sismik analizleri sonucunda elde edilen pik taban deplasmanı, pik çalkantı deplasmanı, pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti, pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti ve pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtları ((a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$ ve (b) $T_0 = 4$ s, $h/R =$

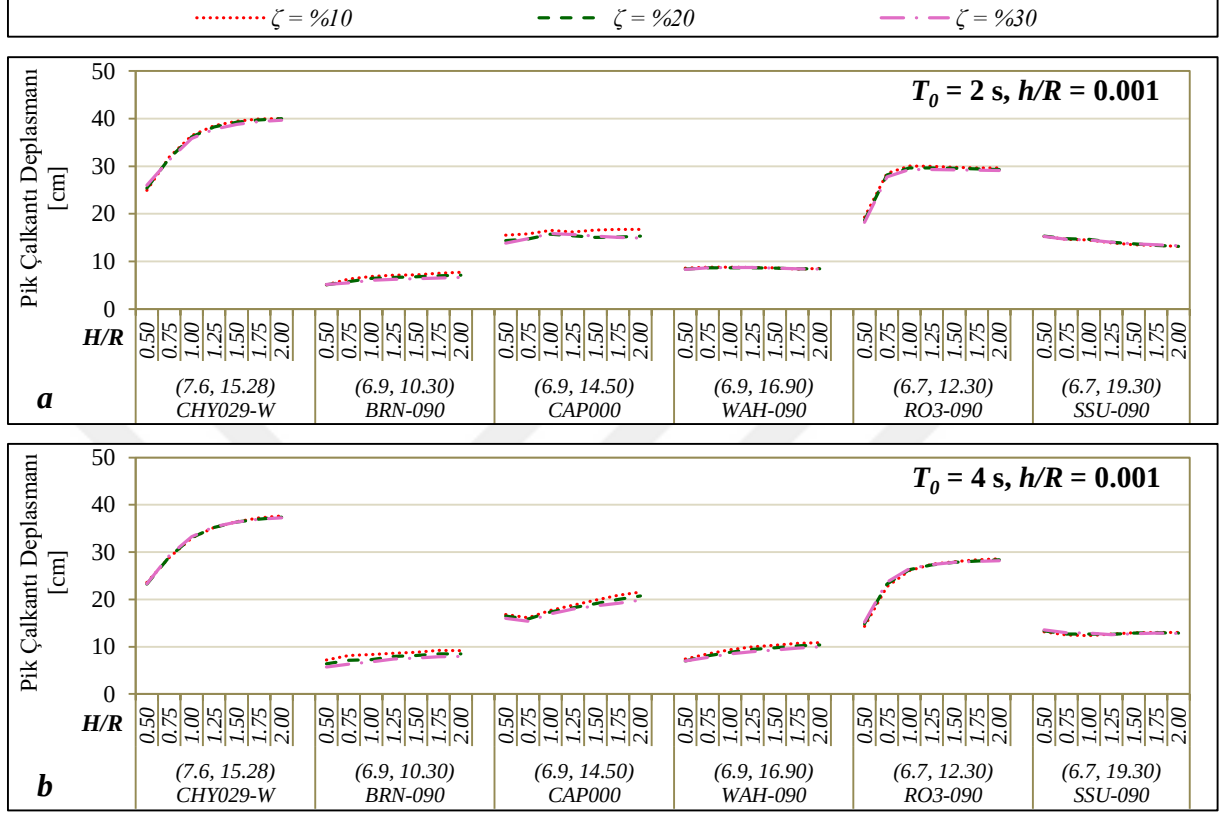
0.001 özelliklerine sahip sistemler için) sırasıyla Şekil 4.27, 4.28, 4.29, 4.30 ve 4.31’de verilmiştir. Ayrıca, bu yanıtların yorumlanmasında kolaylık sağlaması açısından, $T_0 = 2$ s izolasyon periyoduna sahip sistem yanıtlarının $T_0 = 4$ s izolasyon periyodu için elde edilenlere oranlarının sunulduğu grafikler ile $\zeta = \%10$, $\%20$ ve $\%30$ parametreleri için elde edilen yanıtların $Q/W = \%5$ karakteristik kuvvet oranına sahip sistemler (yani $\zeta = \%0$) için elde edilen yanıtlara oranlarının verildiği grafikler EK-8’de sunulmuştur. Mevcut şekillerde sunulan deprem kayıtları, öncelikle moment büyüklüğünün azalması ve ardından her bir moment büyüklüğü değerinde fay hattına olan mesafenin artmasına göre sıralanmıştır. Bu kapsamda, parantez içerisinde verilen sayılar her bir deprem kaydı için sırasıyla moment büyüklüğü (M_w) ve faya en yakın mesafeyi (r) göstermektedir.



Şekil 4.27: Uzak fay deprem kayıtları altında ilave viskoz sönümleyici kullanılan (a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$ ve (b) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$ sistemler için elde edilen pik taban deplasmanı yanıtları.

Fay hattına olan mesafenin pik taban deplasmanı, pik çalkantı deplasmanı, pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti, pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti ve pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtlarına olan etkisi açısından yakın depremlerdeki kadar belirgin bir eğilim ortaya çıkmamıştır (Şekil 4.27, 4.28, 4.29, 4.30 ve 4.31). Aynı moment büyüklüğü

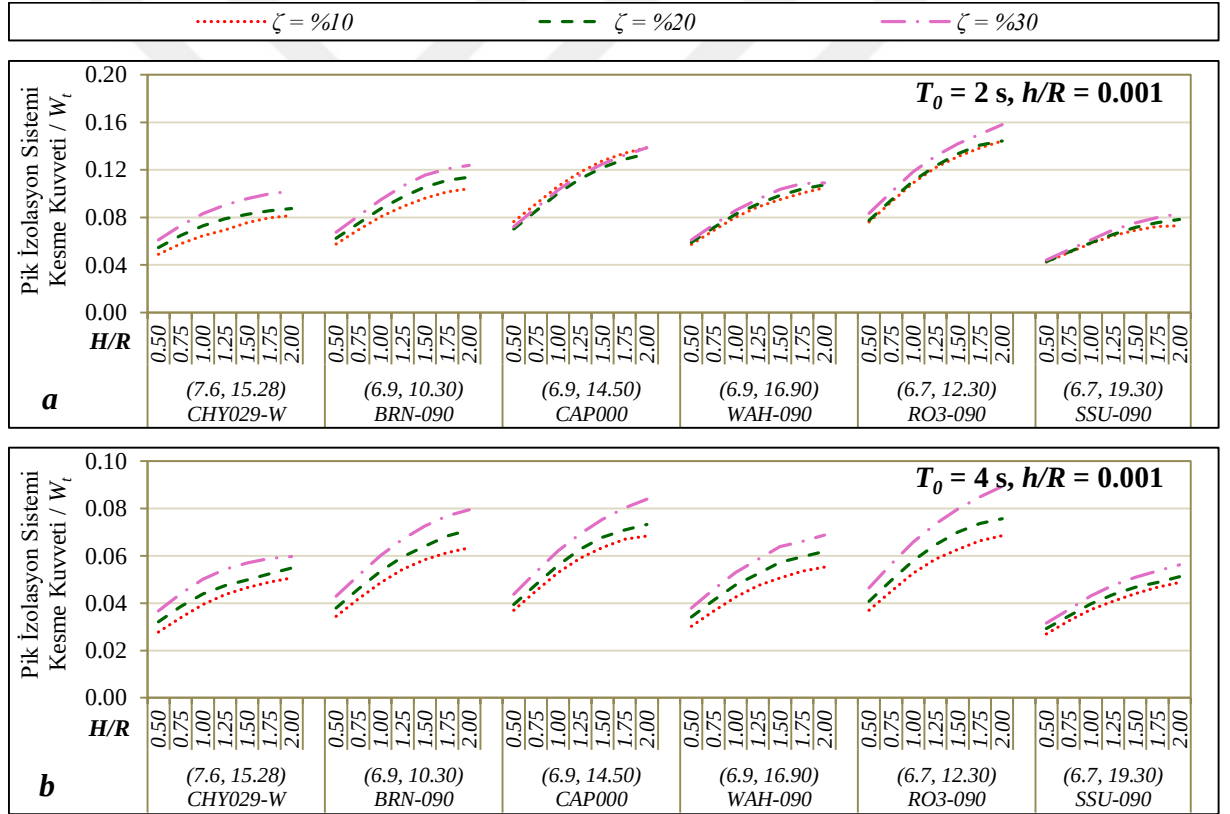
için faya olan mesafedeki artışla söz konusu yanıtların artabildiği veya azalabildiği durumlar gözlemlenmiştir (Şekil 4.27, 4.28, 4.29, 4.30 ve 4.31).



Şekil 4.28: Uzak fay deprem kayıtları altında ilave viskoz sönümleyici kullanılan (a) $T_0 = 2 \text{ s}$, $h/R = 0.001$ ve (b) $T_0 = 4 \text{ s}$, $h/R = 0.001$ sistemler için elde edilen pik çalkantı deplasmanı yanıtları.

Pik taban deplasmanı yanıtları izolasyon periyodundaki artışla genellikle artsa da azaldığı durumlar da mevcuttur (Şekil 4.27). Örneğin BRN-090 deprem kaydı için $T_0 = 2 \text{ s}$, $h/R = 0.001$, $H/R = 0.50$ ve $\zeta = \%10$ durumunda pik taban deplasmanı yanıtı 7.53 cm değerindeyken, aynı koşullarda $T_0 = 4 \text{ s}$ izolasyon periyodu için %27.41 artışla 9.60 cm değerini almıştır. Öte yandan, CHY029-W deprem kaydı etkisi altında $T_0 = 2 \text{ s}$, $h/R = 0.001$, $H/R = 0.50$ ve $\zeta = \%30$ olma durumunda 5.17 cm değerindeyken, yine aynı koşullarda $T_0 = 4 \text{ s}$ için %6.29 azalışla 4.84 cm değerine düşmüştür (Şekil 4.27 (a ve b)). Pik çalkantı deplasmanı yanıtları ise izolasyon periyodundaki değişimle depremin karakteristiğine göre artışlar veya azalışlar gösterebilmektedir (Şekil 4.28). Örneğin RO3-090 deprem kaydı için $T_0 = 2 \text{ s}$, $h/R = 0.001$, $H/R = 0.50$ ve $\zeta = \%10$ olma durumunda pik çalkantı deplasmanı yanıtı 19.27 cm değerindeyken, aynı koşullarda $T_0 = 4 \text{ s}$ için %25.86 azalarak 14.29 cm değerini almıştır. BRN-090 deprem kaydı etkisi altında ise $T_0 = 2 \text{ s}$, $h/R = 0.001$, $H/R = 0.50$ ve $\zeta = \%10$ olma durumunda 5.07 cm değerindeyken, aynı koşullarda $T_0 = 4 \text{ s}$ için %42.11 artarak 7.21 cm değerine çıkmıştır (Şekil

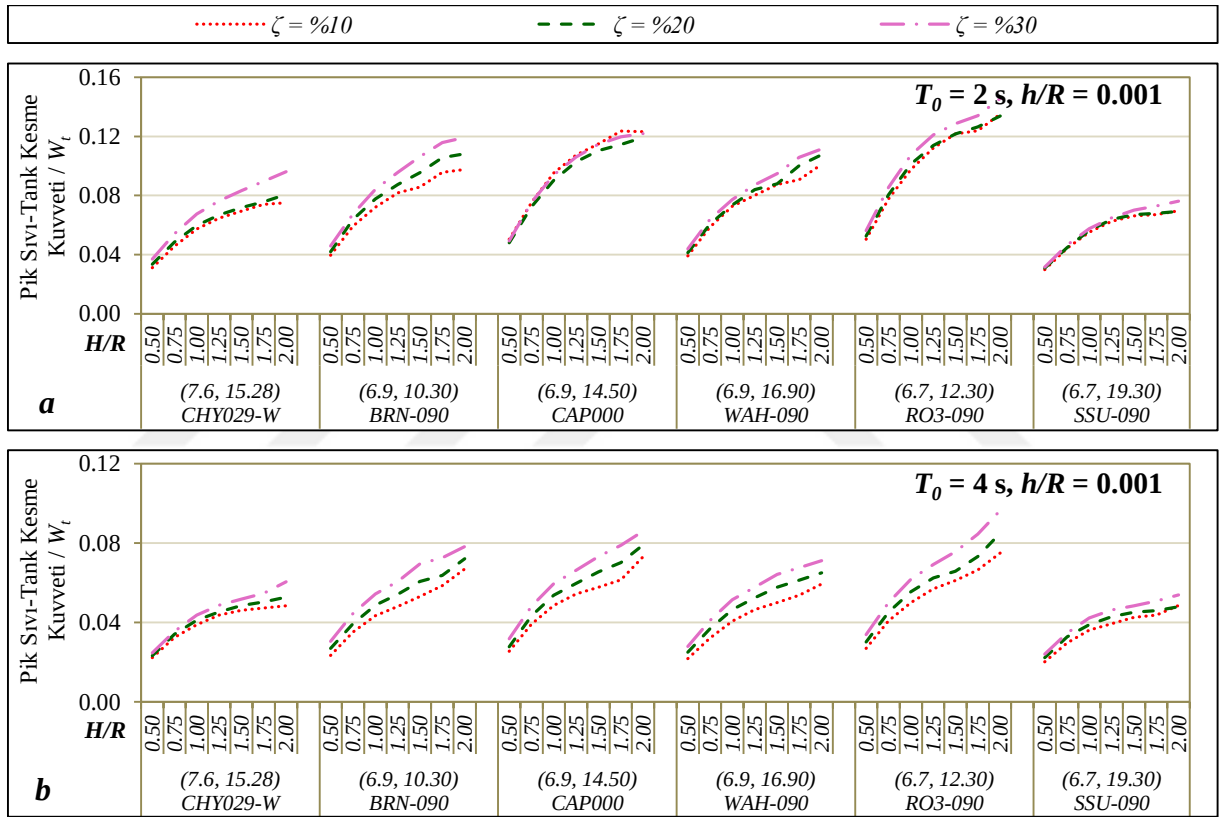
4.28 (a ve b)). Sırasıyla, Şekil 4.29 ve 4.30'dan görüleceği üzere $T_0 = 2$ s izolasyon periyodu için pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti ve pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtları tüm durumlarda $T_0 = 4$ s izolasyon periyoduna sahip olma durumundan daha büyük değerler almıştır. Örneğin RO3-090 deprem kaydı için $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, $H/R = 2.00$ ve $\zeta = \%30$ olma durumunda pik izolasyon sistemi kesme kuvvetinin izolasyon sistemi üzerindeki toplam yapı ağırlığına oranı $\%15.79$ değerindeyken, $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, $H/R = 2.00$ ve $\zeta = \%30$ olma durumunda $\%43.42$ azalışla $\%8.93$ değerini almıştır (Şekil 4.29 (a ve b)). Pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtlarının ise izolasyon periyodundaki artış ile arttırabildiği gibi azalabildiği de görülmektedir (Şekil 4.31). Ayrıntılı grafikler için EK-8'e bakınız.



Şekil 4.29: Uzak fay deprem kayıtları altında ilave viskoz sönümleyici kullanılan (a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$ ve (b) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$ sistemler için elde edilen pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti yanıtları.

ζ oranındaki artış, uzak fay tarihi deprem kayıtları altında taban deplasmanında azalmaya sebep olmuştur (Şekil 4.27). Pik çalkantı deplasmanı yanıtları ise ζ oranındaki artışa bağlı olarak azalmaya sebep olmakla birlikte, izolasyon periyodu, H/R oranı ve deprem karakteristiği kombinasyonuna bağlı olarak artışlara da sebep olabilmektedir (Şekil 4.28). Pik izolasyon

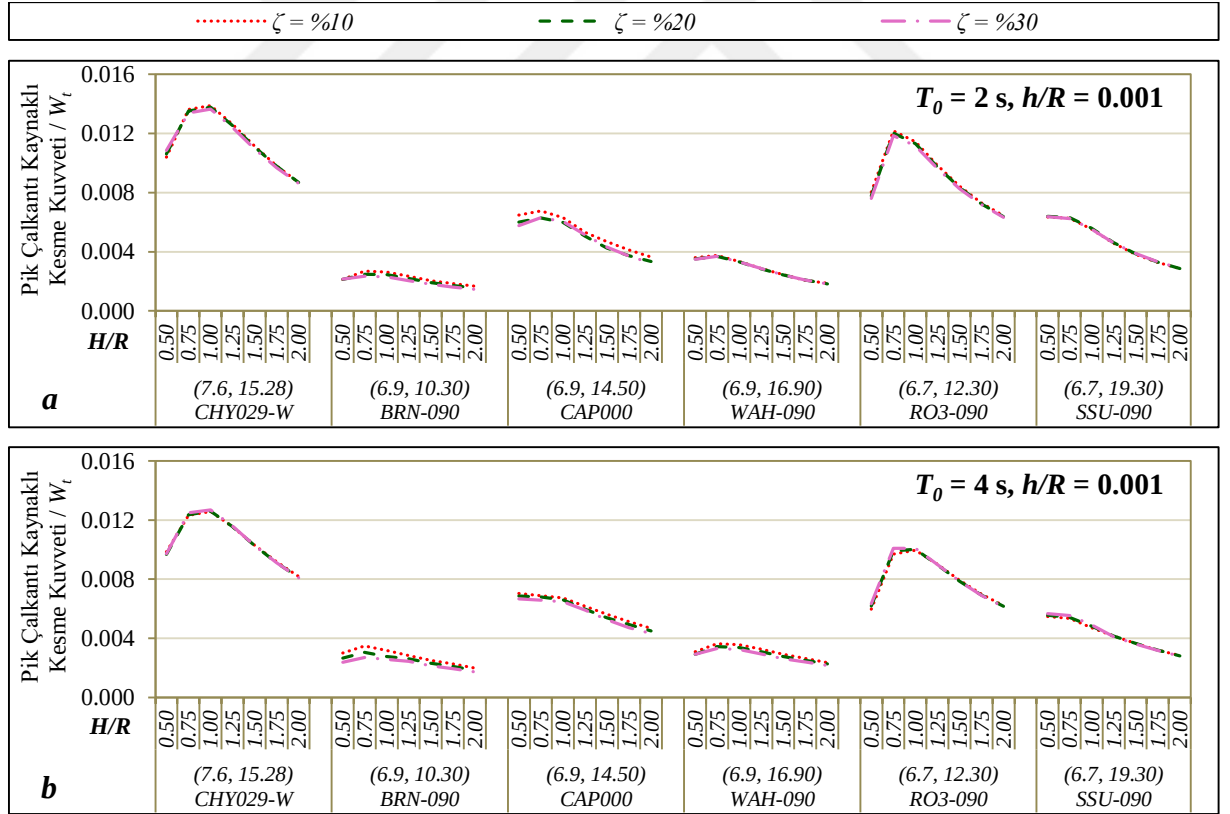
sistemi normalize kesme kuvveti ve pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtları bazı istisnai durumlar hariç ζ oranının %10 olduğu durumda en düşük değerini alma ve ζ oranının %30 olduğu durumda en yüksek değerini alma eğilimindedirler (Şekil 4.29 ve 4.30). Örneğin, $T_0 = 2$ s izolasyon periyoduna ve $h/R = 0.001$ oranına sahip sistemler için (Şekil 4.29 (a) ve 4.30 (a)) CAP000 deprem kaydı etkisi altında bazı H/R oranlarında bu sıralamada farklılıklar oluşabildiği görülmüştür. ζ oranlarındaki artış genellikle pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtlarını azaltmakla birlikte deprem karakteristiğine göre bazı durumlarda artışlara sebep olabilmektedir (Şekil 4.31). Ayrıntılı grafikler için EK-8'e bakınız.



Şekil 4.30: Uzak fay deprem kayıtları altında ilave viskoz sönümleyici kullanılan (a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$ ve (b) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$ sistemler için elde edilen pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtları.

H/R oranındaki artışın pik taban deplasmanı yanıtlarını büyük oranda olmamakla birlikte etkilediği ve depremin karakteristik özelliklerine bağlı olarak arttırabildiği gibi azaltabildiği de görülmektedir (Şekil 4.27). Örneğin CAP000 deprem kaydı için $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, $\zeta = 10\%$ ve $H/R = 0.50$ olma durumunda pik taban deplasmanı yanıtı 12.23 cm değerindeyken, $H/R = 2.00$ değeri için %1.91 azalarak 12.00 cm değerine düşmüştür. Buna karşılık RO3-090 deprem kaydı etkisi altında $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, $\zeta = 10\%$ ve $H/R = 0.50$ olma durumunda pik taban

deplasmanı yanıtı 11.79 cm değerindeyken, $H/R = 2.00$ değeri için %5.34 artarak 12.42 cm değerine çıkmıştır (Şekil 4.27 (a)). H/R oranındaki artışın pik çalkantı deplasmanı yanıtlarını artış miktarı depremin karakteristik özelliklerine bağlı olmakla birlikte genel olarak arttırdığı görülmektedir (Şekil 4.28). Örneğin CHY029-W deprem kaydı için $T_0 = 2$ s, $h/R=0.001$, $\zeta = \%10$ ve $H/R = 0.50$ olma durumunda pik çalkantı deplasmanı yanıtı 24.95 cm değerindeyken, $H/R = 2.00$ değeri için %60.34 artışla 40.00 cm değerine çıkmıştır (Şekil 4.28 (a)). Buna karşılık SSU-090 deprem kaydı etkisi altında $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, $\zeta = \%10$ ve $H/R = 0.50$ olma durumunda 15.24 cm değerindeyken, $H/R = 2.00$ değeri için %13.73 azalışla 13.15 cm değerine düşmüştür (Şekil 4.28 (a)). H/R oranındaki artışın pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvvetini tüm durumlarda arttırdığı görülmektedir (Şekil 4.29). Örneğin CAP000 deprem kaydı için $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, $\zeta = \%10$ ve $H/R = 0.50$ olma durumunda pik izolasyon sistemi kesme kuvveti yanıtının izolasyon sistemi üzerindeki toplam yapı ağırlığına oranı %7.65 değerindeyken, $H/R = 2.00$ için %81.07 artışla %13.86 değerine çıkmıştır (Şekil 4.29 (a)). Sıvı-

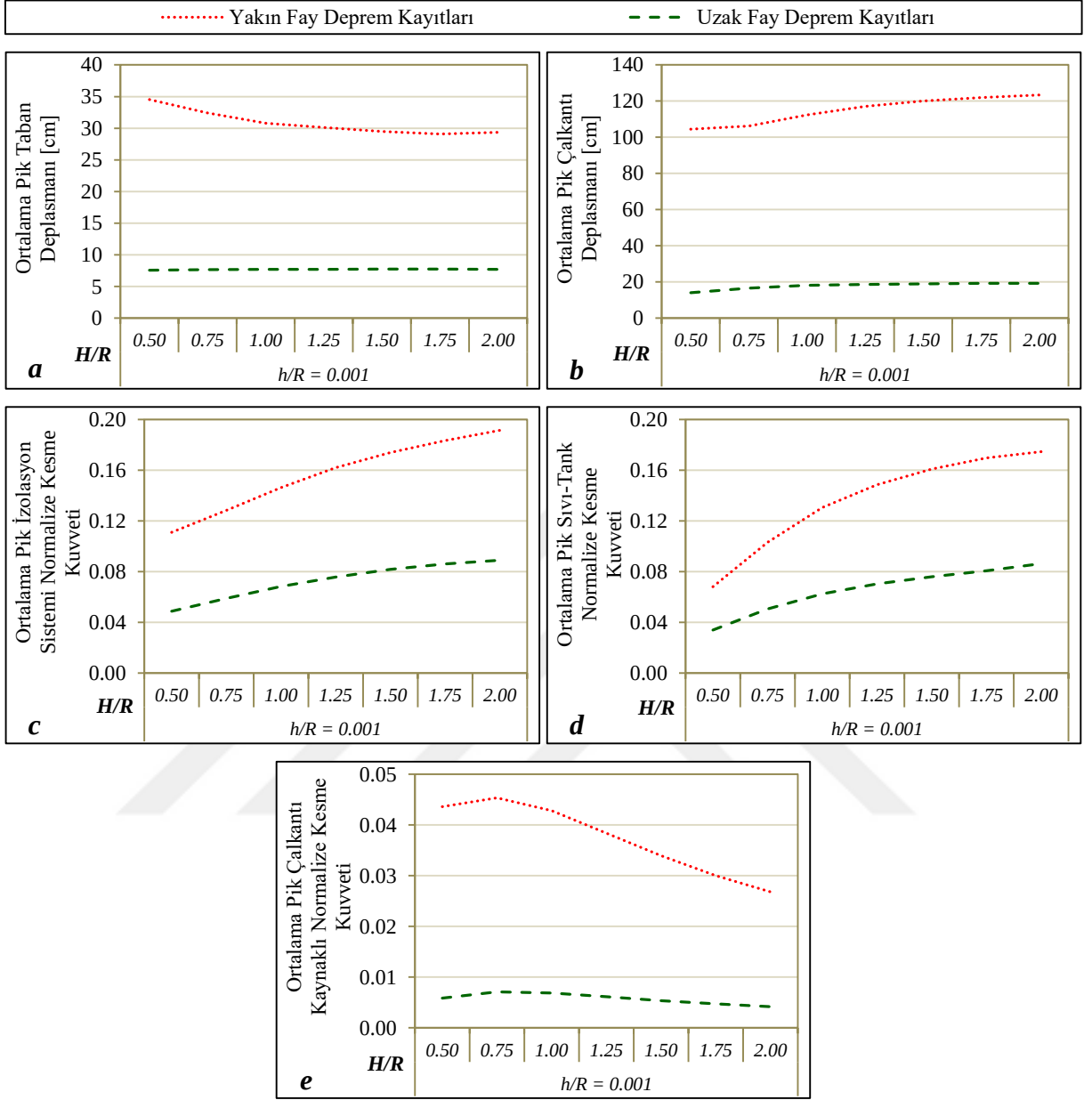


Şekil 4.31: Uzak fay deprem kayıtları altında ilave viskoz sönümleyici kullanılan (a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$ ve (b) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$ sistemler için elde edilen pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtları.

tank normalize kesme kuvveti yanıtlarının da H/R oranındaki artış ile birlikte arttığı görülmektedir (Şekil 4.30). Örneğin RO3-090 deprem kaydı etkisi altında $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, $\zeta = \%10$ ve $H/R = 0.50$ olma durumunda sıvı-tank kesme kuvveti yanıtının izolasyon sistemi üzerindeki toplam yapı ağırlığına oranı $\%5.05$ değerindeyken gittikçe artarak $H/R = 2.00$ değeri için ($\%167.58$ artarak) $\%13.51$ değerine çıkmıştır (Şekil 4.30 (a)). Pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtlarının ise H/R oranındaki artışla depremin karakteristik özelliklerine bağlı olmakla birlikte genel olarak önce bir miktar arttığı ve ardından azaldığı görülmektedir (Şekil 4.31). Örneğin CHY029-W deprem kaydı için $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, $\zeta = \%10$ ve $H/R = 0.50$ durumunda pik çalkantı kaynaklı kesme kuvvetinin izolasyon sistemi üzerindeki toplam yapı ağırlığına oranı $\%1.04$ değerindeyken, $H/R = 1.00$ için ($\%33$ artışla) $\%1.39$ değerine çıkmıştır ve gitgide azalarak $H/R = 2.00$ oranı için ($H/R = 1.00$ 'e göre $\%37$ azalışla) $\%0.87$ değerine düşmüştür (Şekil 4.31 (a)).

4.2.3. Tarihi Yakın Fay ve Uzak Fay Deprem Kayıtlarına Ait Sismik Analiz Sonuçlarının Karşılaştırmalı Olarak Değerlendirilmesi

Bölüm 4.2.1 ve 4.2.2'de ilave viskoz sönümleyici kullanılan taban izolasyonlu sıvı depolama tankı modellerinin sırasıyla tarihi yakın fay (TCU052-W, TCU101-W, ERZ-NS, LGP000, RRS228 ve ARL090) ve uzak fay (CHY029-W, BRN-090, CAP000, WAH-090, RO3-090 ve SSU-090) deprem kayıtları altında elde edilen pik taban deplasmanı, pik çalkantı deplasmanı, pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti, pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti ve pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtları her bir deprem kaydı ayrı ayrı dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Deprem çalışmalarında ise, genel eğilimlerin belirlenmesi açısından farklı depremler altında ortaya çıkan dinamik yanıtların ortalamaları önem arz etmektedir. Bu nedenle mevcut kısımda, Bölüm 4.2.1 ve 4.2.2'de ilave viskoz sönümleyici kullanılan taban izolasyonlu sıvı depolama tanklarının tarihi yakın fay ve uzak fay depremleri altında elde edilen sismik yanıtları kullanılarak hesaplanan ortalama değerlerin sunulduğu grafikler oluşturulmuş ve yorumlanmıştır (Şekil 4.32, 4.33, 4.34, 4.35, 4.36 ve 4.37). Ayrıca, bu yanıtların yorumlanmasında kolaylık sağlaması açısından, $T_0 = 2$ s izolasyon periyoduna sahip sistem yanıtlarının $T_0 = 4$ s izolasyon periyodu için elde edilenlere oranlarının sunulduğu grafikler ile $\zeta = \%10$, $\%20$ ve $\%30$ parametreleri için elde edilen yanıtların $Q/W = \%5$ karakteristik kuvvet oranına sahip sistemler (yani $\zeta = \%0$) için elde edilen yanıtlara oranlarının verildiği grafikler EK-9'da sunulmuştur.



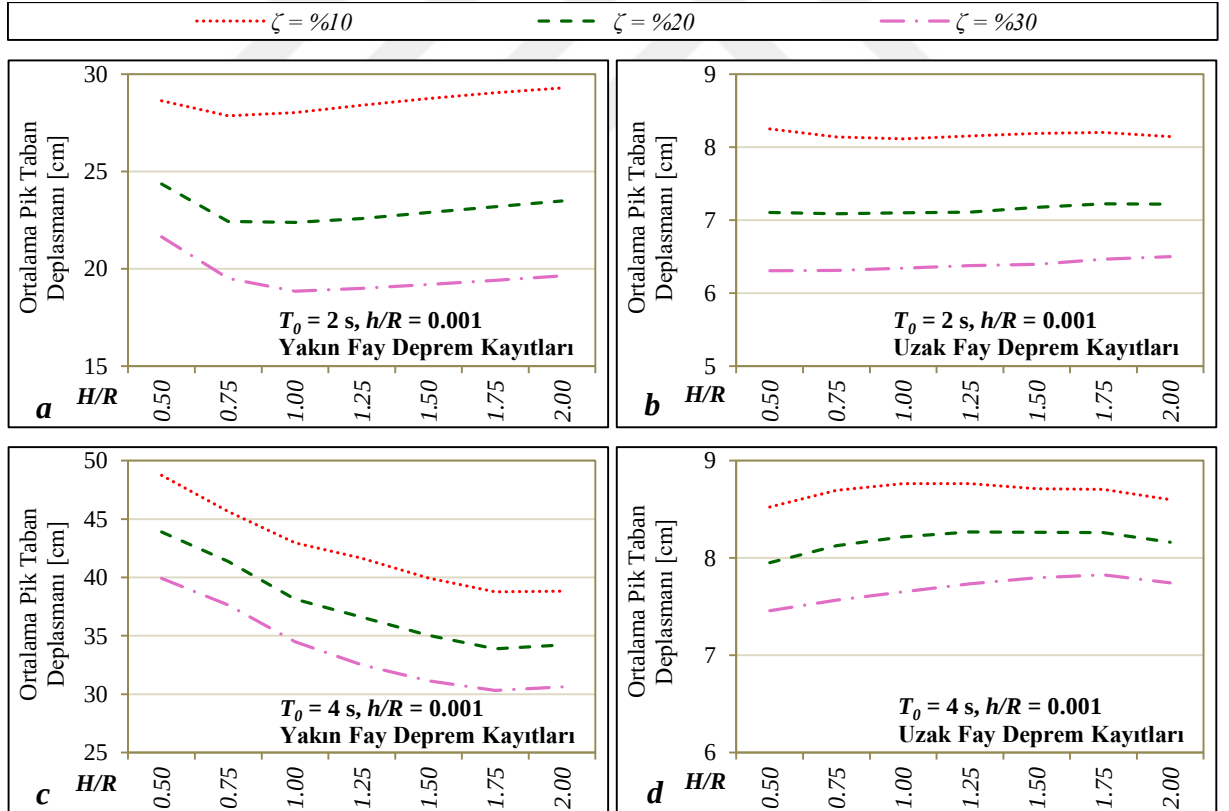
Şekil 4.32: Yakın fay ve uzak fay tarihi deprem kayıtları altında farklı H/R değerleri için elde edilen (a) pik taban deplasmanı, (b) pik çalkantı deplasmanı, (c) pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti, (d) pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti ve (e) pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtlarının ortalama değerleri.

Şekil 4.32 (a), (b), (c), (d) ve (e)'de sırasıyla pik taban deplasmanı, pik çalkantı deplasmanı, pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti, pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti ve pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtları, yakın ve uzak fay tarihi deprem kayıtları için h/R oranının 0.001 olma durumu ile H/R oranının 0.50, 0.75, 1.00, 1.25, 1.50, 1.75 ve 2.00 olma durumları için; ancak, uygulanan deprem kaydı, izolasyon periyodu ve ilave viskoz sönüm

oranı ayrımı yapılmadan elde edilen ortalama değerler için verilmiştir. Ayrıntılı grafikler için EK-9'a bakınız.

Ortalama pik taban deplasmanı yanıtları yakın fay özelliği gösteren deprem kayıtlarının etkisi altında oldukça büyük değerler alırken, uzak fay özelliği gösteren deprem kayıtlarının etkisi altında çok daha küçük değerler almaktadır. H/R oranındaki değişimin ortalama pik taban deplasmanı değerlerini daha çok yakın fay depremlerinde olmak üzere küçük bir miktar etkilediği görülmüştür (Şekil 4.32 (a)).

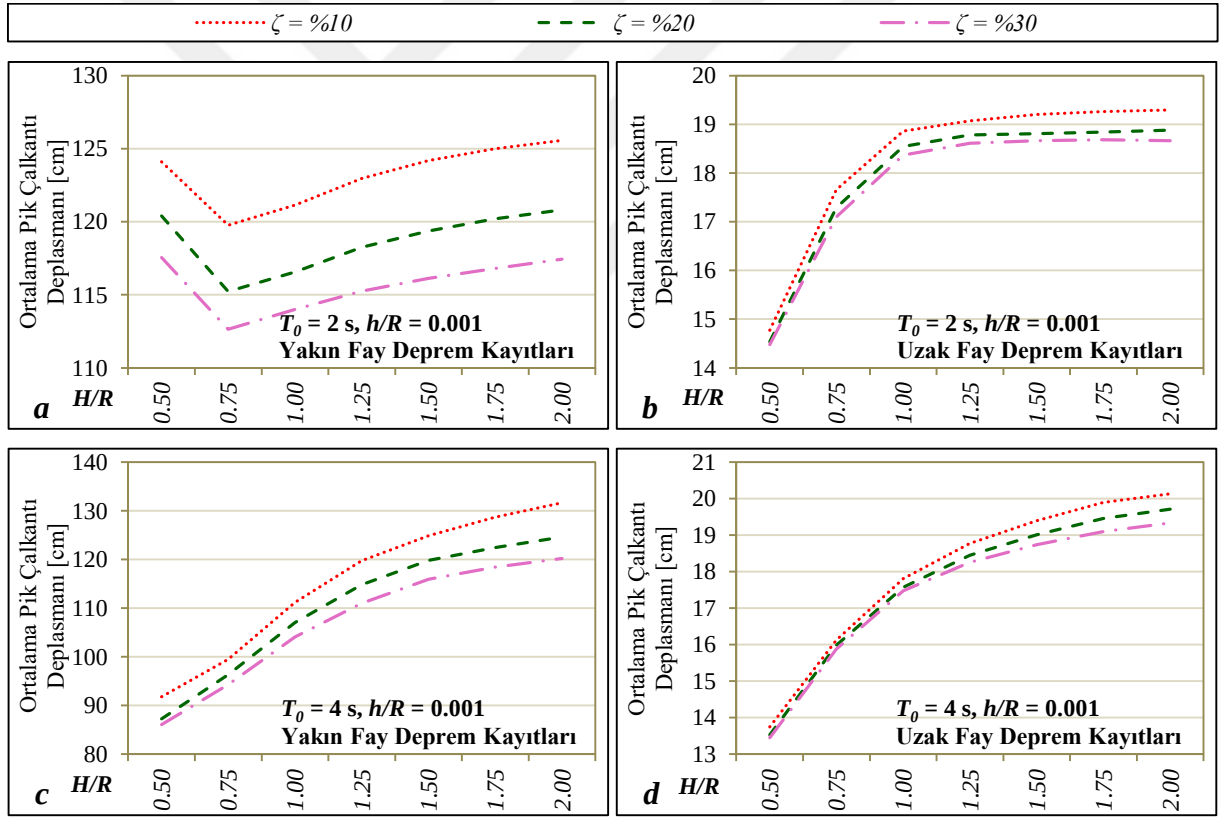
Ortalama pik çalkantı deplasmanı yanıtları yakın fay özelliği gösteren deprem kayıtlarının etkisi altında oldukça büyük değerler alırken, uzak fay özelliği gösteren deprem kayıtlarının etkisi altında çok daha küçük değerler almaktadır. H/R oranındaki artış hem yakın fay hem de uzak fay deprem kayıtları etkisi altında ortalama değerlerde genel olarak artışa neden olmuştur (Şekil 4.32 (b)).



Şekil 4.33: (a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, yakın fay deprem kayıtları, (b) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, uzak fay deprem kayıtları, (c) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, yakın fay deprem kayıtları ve (d) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, uzak fay deprem kayıtları için elde edilen ortalama pik taban deplasmanı yanıtları.

Ortalama pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti ve ortalama pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtları yakın fay özelliği gösteren deprem kayıtlarının etkisi altında, uzak fay özelliği gösteren deprem kayıtlarının etkisi altındaki durumdan çok daha büyük değerler almaktadır. H/R oranındaki artış hem yakın fay hem de uzak fay deprem kayıtları etkisi altında ortalama değerlerde artışa neden olmuştur (Şekil 4.32 (c) ve 4.32 (d)).

Ortalama pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtları yakın fay özelliği gösteren deprem kayıtlarının etkisi altında, uzak fay özelliği gösteren deprem kayıtlarının etkisi altındaki durumdan daha büyük değerler almaktadır. H/R oranındaki artış hem yakın fay hem de uzak fay deprem kayıtları etkisi altında ortalama değerlerde genel olarak önce bir miktar artışa ardından azalışa neden olmuştur (Şekil 4.32 (e)).

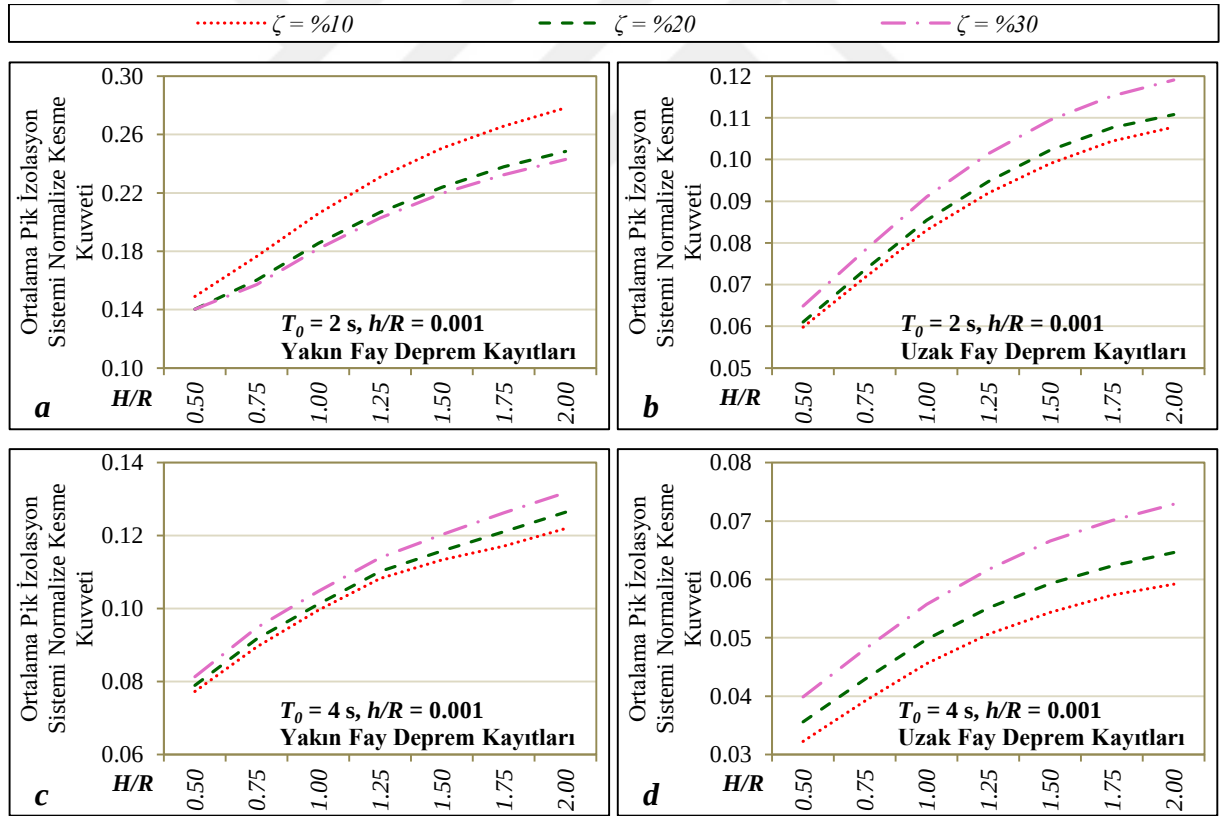


Şekil 4.34: (a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, yakın fay deprem kayıtları, (b) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, uzak fay deprem kayıtları, (c) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, yakın fay deprem kayıtları ve (d) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, uzak fay deprem kayıtları için elde edilen ortalama pik çalkantı deplasmanı yanıtları.

Şekil 4.33, 4.34, 4.35, 4.36 ve 4.37’de sırasıyla pik taban deplasmanı, pik çalkantı deplasmanı, pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti, pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti ve pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtlarının her birinin ortalama değerleri sırasıyla (a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, yakın fay deprem kayıtları, (b) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, uzak fay deprem

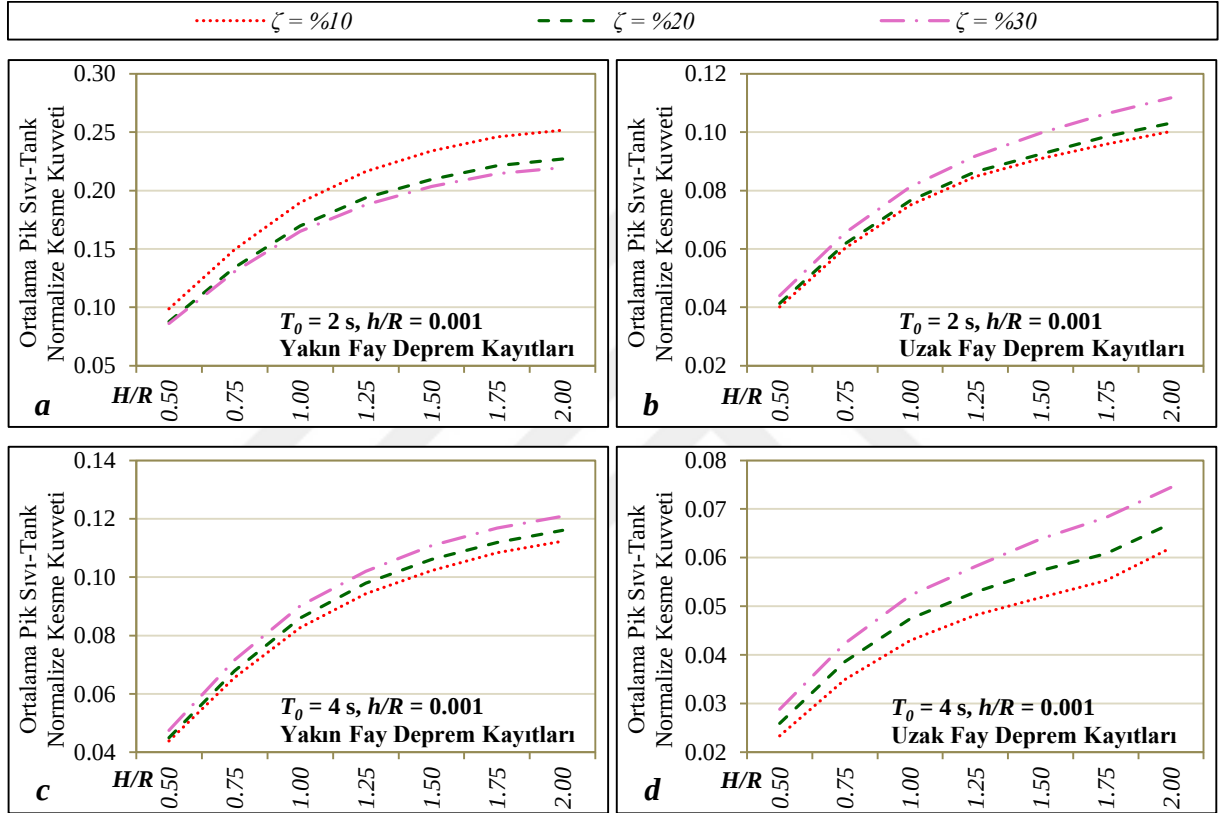
kayıtları, (c) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, yakın fay deprem kayıtları ve (d) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, uzak fay deprem kayıtları için verilmiştir. Ortalama değerler elde edilirken yakın fay ve uzak fay tarihi deprem kayıtları altındaki yanıtların ortalamaları ayrı ayrı alınmıştır. Grafikler, $T_0 = 2$ s ve 4 s, $h/R = 0.001$, $H/R = 0.50, 0.75, 1.00, 1.25, 1.50, 1.75$ ve 2.00 durumları ile uzak veya yakın fay deprem kaydından elde edilmiş olmalarına ve ilave viskoz sönüm oranlarına ($\zeta = \%10, \%20$ ve 30) bağlı olarak sınıflandırılmıştır. Ayrıntılı grafikler için EK-9'a bakınız.

Şekil 4.33 incelendiğinde, ilave sönüm oranı ζ değerinin artmasının ortalama pik taban deplasmanı yanıtlarını hem yakın fay özelliği gösteren hem de uzak fay özelliği gösteren deprem kayıtları için azalttığı görülmektedir. İzolasyon periyodundaki artışın ortalama pik taban deplasmanı yanıtlarını yakın ve uzak fay deprem kayıtları için arttırdığı, ancak bu artışın özellikle yakın depremlerde önemli miktarda olurken uzak depremler için küçük bir miktar olduğu görülmektedir.



Şekil 4.35: (a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, yakın fay deprem kayıtları, (b) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, uzak fay deprem kayıtları, (c) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, yakın fay deprem kayıtları ve (d) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, uzak fay deprem kayıtları için elde edilen ortalama pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti yanıtları.

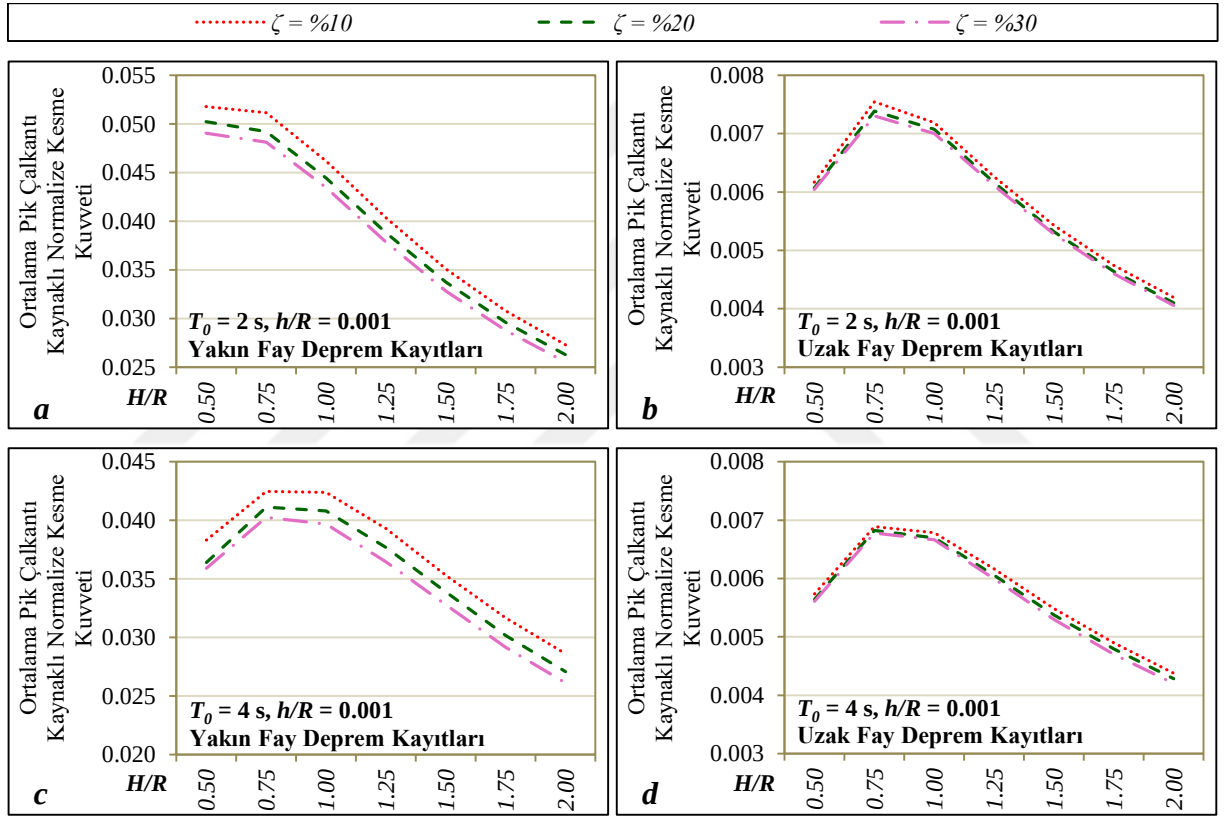
Şekil 4.34 incelendiğinde, yakın fay ve uzak fay özelliği gösteren deprem kayıtları için ilave sönüm oranı ζ değerinin artmasının ortalama pik çalkantı deplasmanı yanıtlarını azalttığı görülmektedir. $T_0 = 2$ s izolasyon periyotlu sistemlerin ortalama pik çalkantı deplasmanı yanıtlarının yakın ve uzak depremlerde küçük H/R oranları için $T_0 = 4$ s izolasyon periyotlu sistemlere nazaran genellikle daha büyük olduğu ancak büyük H/R oranları için az miktarda da olsa daha küçük olabildiği görülmüştür.



Şekil 4.36: (a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, yakın fay deprem kayıtları, (b) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, uzak fay deprem kayıtları, (c) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, yakın fay deprem kayıtları ve (d) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, uzak fay deprem kayıtları için elde edilen ortalama pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtları.

Şekil 4.35'deki grafikler incelendiğinde, $T_0 = 2$ s izolasyon periyoduna sahip sistemlerin yakın fay özelliği gösteren deprem kayıtları için ilave sönüm oranı ζ değerinin artmasının ortalama pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti yanıtlarını azalttığı, uzak fay özelliği gösteren deprem kayıtları için ise arttırdığı görülmüştür. $T_0 = 4$ s izolasyon periyoduna sahip sistemlerin hem yakın fay hem de uzak fay özelliği gösteren kayıtları için ζ değerinin artması, yanıtları arttırmıştır. Hem yakın fay hem de uzak fay deprem kayıtları için $T_0 = 2$ s izolasyon periyotlu sistemlerin ortalama pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti yanıtlarının $T_0 = 4$ s izolasyon periyotlu sistemlere nazaran daha büyük olduğu görülmüştür.

Şekil 4.36'daki grafikler incelendiğinde, $T_0 = 2$ s izolasyon periyoduna sahip sistemlerin yakın fay özelliği gösteren deprem kayıtları için ilave sönüm oranı ζ değerinin artmasının ortalama pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtlarını azalttığı, uzak fay özelliği gösteren deprem kayıtları için ise arttırdığı görülmüştür. $T_0 = 4$ s izolasyon periyoduna sahip sistemlerin hem yakın fay hem de uzak fay özelliği gösteren kayıtları için ζ değerinin artması, yanıtları genel olarak arttırmıştır. Hem yakın fay hem de uzak fay deprem kayıtları için $T_0 = 2$ s izolasyon periyotlu sistemlerin ortalama pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtlarının $T_0 = 4$ s izolasyon periyotlu sistemlere nazaran daha büyük olduğu görülmüştür.



Şekil 4.37: (a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, yakın fay deprem kayıtları, (b) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, uzak fay deprem kayıtları, (c) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, yakın fay deprem kayıtları ve (d) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, uzak fay deprem kayıtları için elde edilen ortalama pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtları.

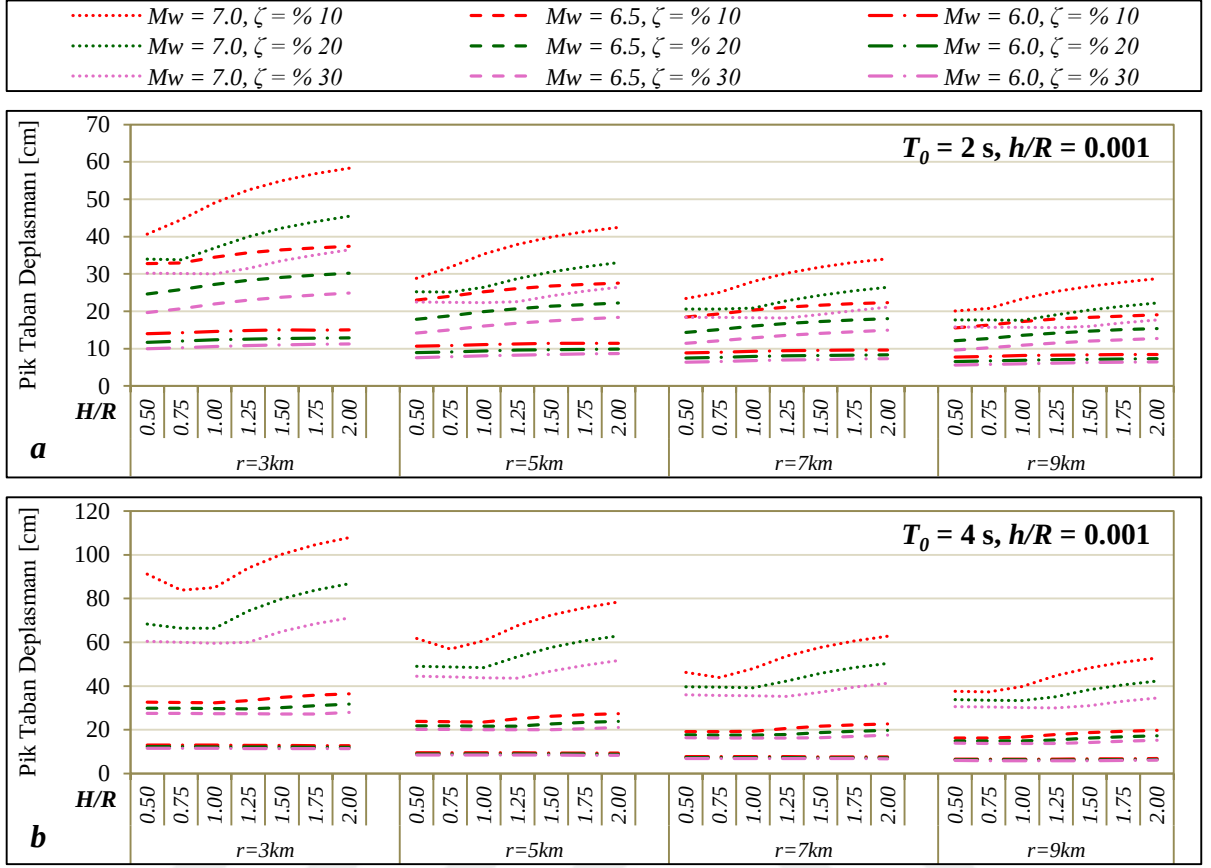
Şekil 4.37'deki grafiklere bakıldığında, yakın fay özelliği gösteren deprem kayıtları için ilave sönüm oranı ζ değerinin artmasının ortalama pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtlarını azalttığı, uzak fay özelliği gösteren deprem kayıtları için ise küçük miktarda azalışlara sebep olabildiği görülmüştür. $T_0 = 2$ s izolasyon periyotlu sistemlerin ortalama pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtlarının $T_0 = 4$ s izolasyon periyotlu sistemlere nazaran genellikle daha büyük olduğu ancak bazı yüksek H/R oranları için tersi durumun

oluşabildiği görülmüştür. Burada elde edilen ortalama pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtları özellikle uzak fay deprem kayıtları için oldukça küçük değerler olsa da bu değerlerin karakteristik kuvvet oranı ve izolasyon periyodu parametrelerine bağlı olarak değişim oranları (Bakınız EK-9) merteye olarak yakın fay deprem kayıtları için elde edilen oranlarla uyumludur.

4.2.4. Sentetik Yakın Fay Deprem Kayıtları Altında Sismik Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Özellikleri Malzeme ve Yöntem başlığı altında Bölüm 3.1 ve 3.2.2’de detaylı olarak anlatılan ilave viskoz sönümleyici kullanılan ($\zeta = \%10, \%20$ ve $\%30$) taban izolasyonlu sıvı depolama tankı modelleri, Bölüm 3.3.2’de üretilmesine dair detaylar sunulan yakın fay özelliği gösteren 12 adet sentetik deprem kaydına ($M_w = 6.0$ ve $r = 3$ km, $M_w = 6.0$ ve $r = 5$ km, $M_w = 6.0$ ve $r = 7$ km, $M_w = 6.0$ ve $r = 9$ km, $M_w = 6.5$ ve $r = 3$ km, $M_w = 6.5$ ve $r = 5$ km, $M_w = 6.5$ ve $r = 7$ km, $M_w = 6.5$ ve $r = 9$ km, $M_w = 7.0$ ve $r = 3$ km, $M_w = 7.0$ ve $r = 5$ km, $M_w = 7.0$ ve $r = 7$ km ve $M_w = 7.0$ ve $r = 9$ km) maruz bırakılmıştır. Doğrusal olmayan sismik analizler sonucunda pik taban deplasmanı, pik çalkantı deplasmanı, pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti, pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti ve pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtları ((a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$ ve (b) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$ özelliklerine sahip sistemler için) sırasıyla Şekil 4.38, 4.39, 4.40, 4.41 ve 4.42’de verilmiştir. Ayrıca, bu yanıtların yorumlanmasında kolaylık sağlaması açısından, $T_0 = 2$ s izolasyon periyoduna sahip sistem yanıtlarının $T_0 = 4$ s izolasyon periyodu için elde edilenlere oranlarının sunulduğu grafikler ile $\zeta = \%10, \%20$ ve $\%30$ parametreleri için elde edilen yanıtların $Q/W = \%5$ karakteristik kuvvet oranına sahip sistemler (yani $\zeta = \%0$) için elde edilen yanıtlara oranlarının verildiği grafikler EK-10’da sunulmuştur. Sunulan grafiklerde deprem kayıtları, fay hattına olan mesafenin artışına göre sıralanmış olup deprem büyüklüğüne göre de sınıflandırılmıştır.

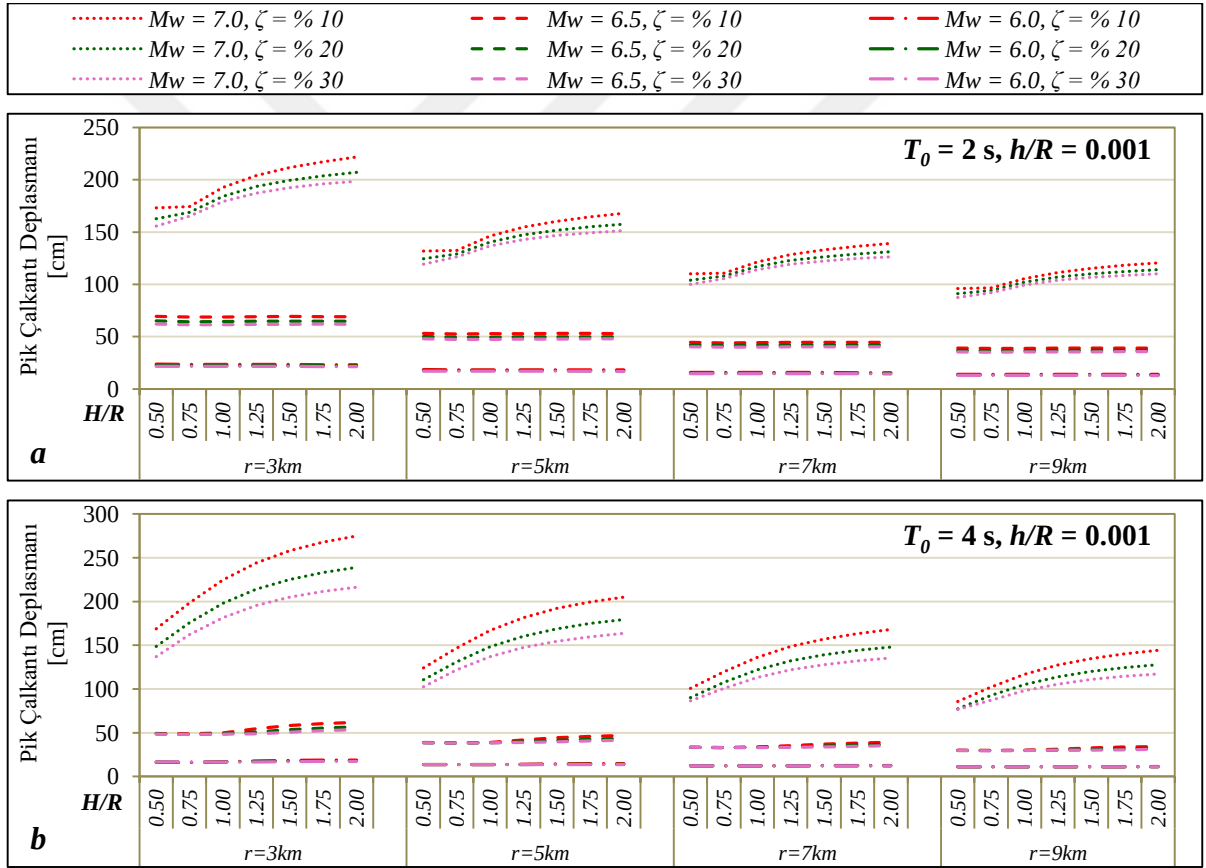
Deprem kaydına ait moment büyüklüğü değerinin artmasıyla ve fay hattına olan mesafenin azalmasıyla pik taban deplasmanı, pik çalkantı deplasmanı, pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti, pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti ve pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtlarının arttıkları görülmüştür (Şekil 4.38, 4.39, 4.40, 4.41 ve 4.42).



Şekil 4.38: Sentetik deprem kayıtları altında ilave viskoz sönümleyici kullanılan (a) $T_0 = 2 \text{ s}$, $h/R = 0.001$ ve (b) $T_0 = 4 \text{ s}$, $h/R = 0.001$ sistemler için elde edilen pik taban deplasmanı yanıtları.

Şekil 4.38’den görüleceği üzere deprem kaydına ait moment büyüklüğü M_w değerinin 7.0 olduğu durumda tüm sönüm oranları için ve moment büyüklüğü M_w değerinin 6.5 olduğu durumda %20 ve %30 ilave sönüm oranı ζ değerleri için, $T_0 = 4 \text{ s}$ izolasyon periyodunda pik taban deplasmanı yanıtları istisnasız olarak $T_0 = 2 \text{ s}$ izolasyon periyoduna sahip olma durumundan daha büyük değerler almıştır. Örneğin $M_w = 7.0$, $r = 3 \text{ km}$ deprem kaydı için $T_0 = 2 \text{ s}$, $h/R = 0.001$, $\zeta = \%10$ ve $H/R = 2.00$ durumunda pik taban deplasmanı yanıtı 58.29 cm değerindeyken, aynı koşullarda $T_0 = 4 \text{ s}$ için 1.85 katına çıkarak 107.92 cm değerini almıştır (Şekil 4.38 (a ve b)). Bölüm 4.2.1 ve 4.2.3’ten elde edilen verilere göre yakın fay deprem kayıtları altında pik taban deplasmanı yanıtlarının burada da söz edildiği gibi izolasyon periyodunun artması ile artması beklenmektedir. Ancak, deprem kaydına ait moment büyüklüğü M_w değerinin 6.0 olduğu durumda tüm sönüm oranları için ve moment büyüklüğü M_w değerinin 6.5 olduğu durumda %10 ilave sönüm oranı değeri için genel olarak yukarıda söz edilen eğilimin tersi durumların olduğu görülmektedir. Örneğin $M_w = 6.0$ ve $r = 5 \text{ km}$ deprem kaydı için $T_0 = 2 \text{ s}$, $h/R = 0.001$, $\zeta = \%10$ ve $H/R = 2.00$ durumunda pik taban deplasmanı yanıtı

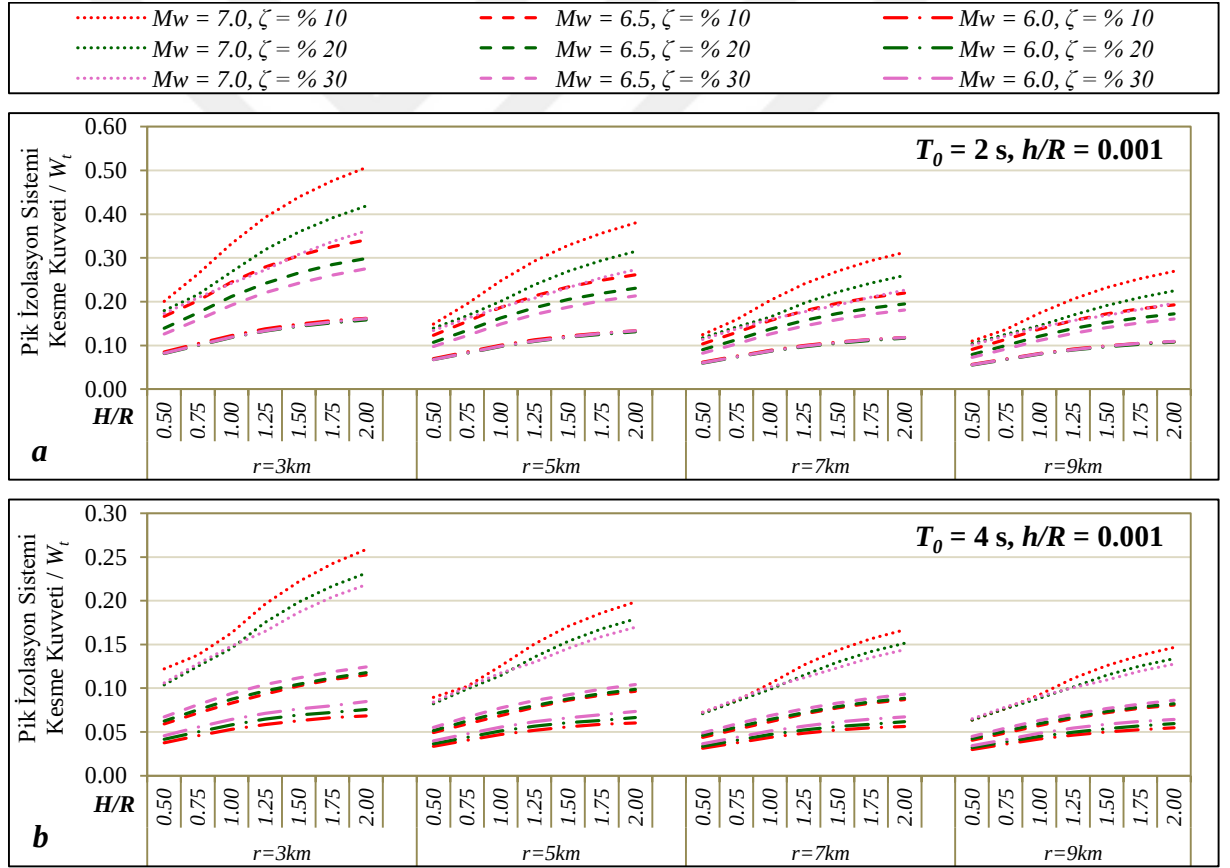
11.44 cm değerindeyken, aynı koşullarda $T_0 = 4$ s için 0.815 katına azalarak 9.32 cm değerini almıştır (Şekil 4.38 (a ve b)). Daha önce de belirtildiği gibi, taban izolasyonlu sıvı depolama tanklarına etki eden depremin puls periyodunun üstyapıya ait çalkantı modu periyodu, üstyapıya ait sıvı-tank modu periyodu ya da izolasyon periyodundan herhangi biriyle çakışması sonucunda beklenmedik durumlar oluşabilmektedir. Tez kapsamında dikkate alınan sentetik deprem kayıtlarının puls periyotları, Bölüm 3.2.2’de verilen Tablo 3.10’den da görüleceği gibi $M_w = 6.0, 6.5$ ve 7.0 moment büyüklüğündeki deprem kayıtları için sırasıyla $T_p = 1.12$ s, 1.83 s ve 2.99 s’dir. Üstyapıya ait çalkantı modu periyotlarının (T_s) Bölüm 3.1, Tablo 3.2’de verildiği gibi farklı H/R oranları için 7.42 s - 6.33 s aralığında değiştikleri ve merteye olarak deprem puls



Şekil 4.39: Sentetik deprem kayıtları altında ilave viskoz sönümleyici kullanılan (a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$ ve (b) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$ sistemler için elde edilen pik çalkantı deplasmanı yanıtları.

periyotlarından (T_p) daha büyük değerlere sahip oldukları görülmektedir. Üstyapıya ait sıvı-tank modu periyotlarının (T_f) ise Bölüm 3.1’de Tablo 3.3 ve 3.4’te verildiği gibi $h/R = 0.001$ ve $h/R = 0.004$ durumları için farklı H/R oranlarında sırasıyla, 0.16 s - 0.50 s ve 0.08 s - 0.26 s aralığında değerler aldıkları ve bu değerlerin de merteye olarak puls periyotlarından (T_p) daha küçük olduğu görülmektedir. Öte yandan, çalışma kapsamında dikkate alınan $T_0 = 2$ s ve 4 s

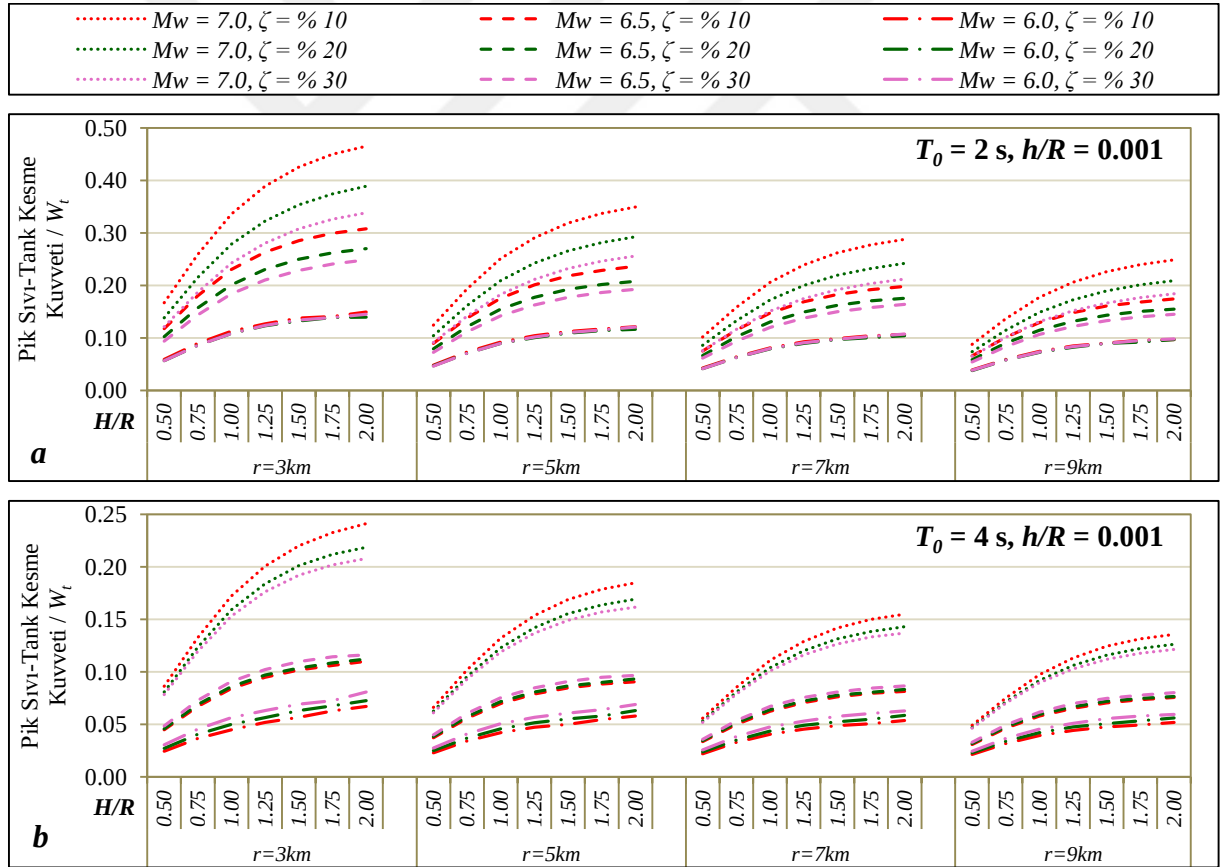
izolasyon periyodu değerlerinin efektif periyotlarının ise puls periyotları ile oldukça yakın değerde oldukları ve bu değerlerle çakıştıkları görülmektedir. Dolayısıyla, genel eğilimin tersinin gözlemlendiği bu durumlarda izolasyon periyodunun depremin puls periyodu ile çakıştığı görülmektedir. Şekil 4.39 ve 4.42'ye bakıldığında ise, pik çalkantı deplasmanı ve pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtları açısından deprem kaydına ait moment büyüklüğü M_w değerinin 6.0 ve 6.5 olduğu durumlarda $T_0 = 4$ s izolasyon periyodu için elde edilen yanıtların $T_0 = 2$ s izolasyon periyoduna sahip olma durumundan daha küçük değerler aldığı görülmüştür. Örneğin $M_w = 6.5$ ve $r = 3$ km deprem kaydı için $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, $\zeta = \%10$ ve $H/R = 0.50$ durumunda pik çalkantı deplasmanı yanıtı 69.39 cm değerindeyken, aynı koşullarda $T_0 = 4$ s için 0.71 katına azalarak 49.12 cm değerini almıştır (Şekil 4.39 (a ve b)).



Şekil 4.40: Sentetik deprem kayıtları altında ilave viskoz sönümleyici kullanılan (a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$ ve (b) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$ sistemler için elde edilen pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti yanıtları.

Bölüm 4.2.1 ve 4.2.3'ten elde edilen verilere göre yakın fay deprem kayıtları altında pik çalkantı deplasmanı ve pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtlarının burada da sözü edildiği gibi izolasyon periyodunun artması ile azalması beklenmektedir. Ancak, deprem

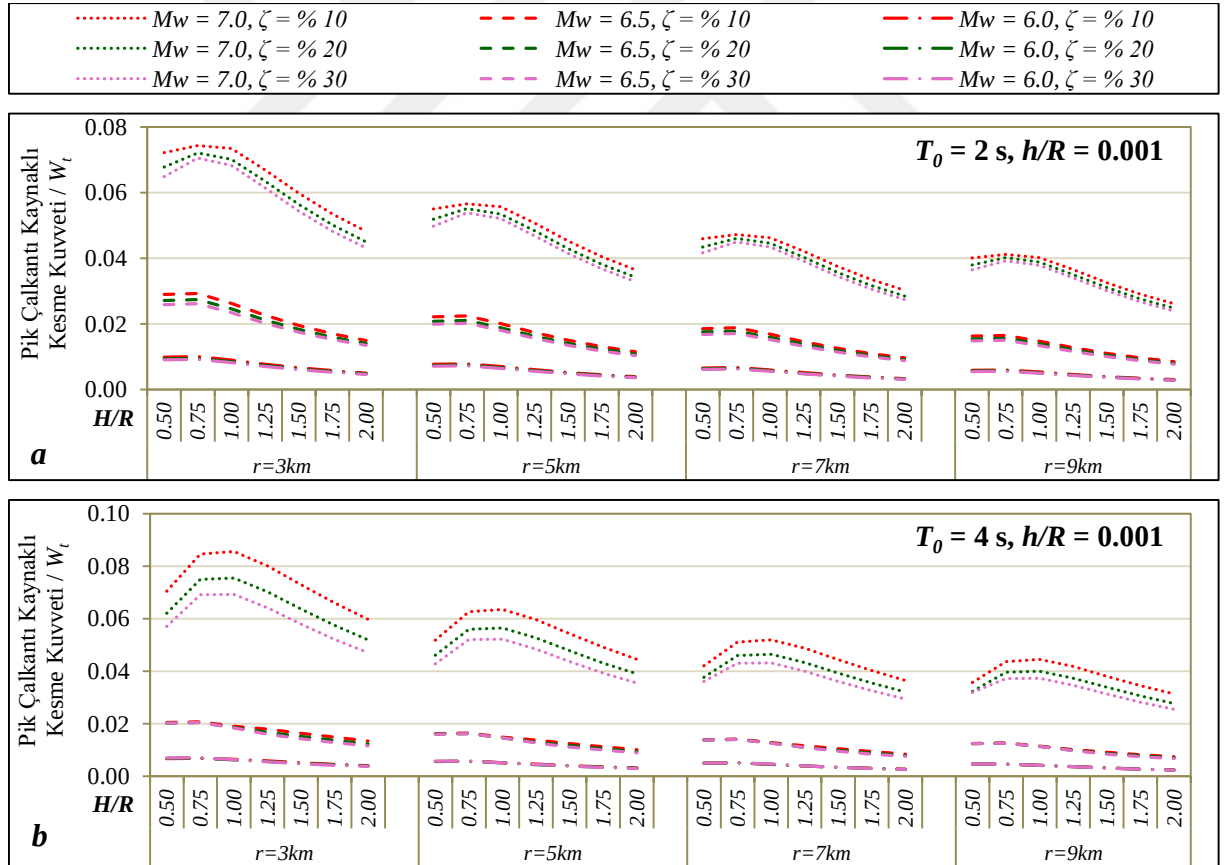
kaydına ait moment büyüklüğü M_w değerinin 7.0 olduğu durumda özellikle H/R oranının büyük olduğu durumlarda $T_0 = 4$ s izolasyon periyodu için elde edilen yanıtların genel olarak $T_0 = 2$ s izolasyon periyodu için elde edilen yanıtlardan daha büyük olduğu görülmüştür. Bu davranışın nedeninin ise izolasyon periyodunun uygulanan depremin puls periyodu ile çakışması olduğu görülmektedir. Pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti ve pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtları ise tüm kayıtlar altında, $T_0 = 2$ s izolasyon periyodu için, $T_0 = 4$ s izolasyon periyoduna sahip olma durumlarından daha büyük değerler almıştır (Şekil 4.40 ve 4.41). Örneğin $M_w = 7.0$ ve $r = 3$ km deprem kaydı için $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, $\zeta = \%10$ ve $H/R = 2.00$ durumunda pik izolasyon sistemi kesme kuvveti yanıtının izolasyon sistemi üzerindeki toplam yapı ağırlığına oranı $\%50.69$ değerindeyken, aynı koşullarda $T_0 = 4$ s için $\%49.01$ azalarak $\%25.85$ değerini almıştır (Şekil 4.40 (a ve b)). Ayrıntılı grafikler için EK-10'a bakınız.



Şekil 4.41: Sentetik deprem kayıtları altında ilave viskoz sönümleyici kullanılan (a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$ ve (b) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$ sistemler için elde edilen pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtları.

Sentetik deprem kayıtları altında pik taban deplasmanı yanıtlarının artan ζ oranı ile azaldığı görülmektedir (Şekil 4.38). Pik çalkantı deplasmanı ve pik çalkantı kaynaklı normalize kesme

kuvveti yanıtları da benzer şekilde genel olarak artan ζ oranı ile azalsa da özellikle deprem kaydına ait moment büyüklüğü M_w değerinin 6.0 ve 6.5 olduğu bazı durumlarda (genellikle küçük H/R oranları ve $T_0 = 4$ s için) ζ oranındaki artış yanıtları çok değiştirmemiş veya bir miktar arttırmıştır (Şekil 4.39 ve 4.42). Bu istisnai durumlara örnek olarak $M_w = 6.5$ ve $r = 3$ km deprem kaydı için $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, $\zeta = \%10$ ve $H/R = 0.50$ durumunda pik çalkantı kaynaklı kesme kuvveti yanıtının izolasyon sistemi üzerindeki toplam yapı ağırlığına oranı $\%2.05$ değerindeyken, $\zeta = \%30$ için az miktarda azalarak $\%2.02$ değerini alması verilebilir (Şekil 4.42 (b)). Pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti ve pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtları ise genel olarak $T_0 = 2$ s için ve $T_0 = 4$ s'de 7.0 büyüklüğündeki deprem kayıtları için artan ζ oranı ile azalmakta diğer durumlarda ise genellikle artmaktadır (Şekil 4.40 ve 4.41). Bu durum da izolasyon periyodunun depremin puls periyoduyla çakışmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıntılı grafikler için EK-10'a bakınız.



Şekil 4.42: Sentetik deprem kayıtları altında ilave viskoz sönümleyici kullanılan (a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$ ve (b) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$ sistemler için elde edilen pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtları.

H/R oranındaki değişimin pik taban deplasmanı yanıtlarını etkilediği, bu orandaki artışın ilgili yanıtlarda bazı istisnai durumlar hariç artışa sebep olduğu görülmüştür (Şekil 4.38). İstisnai durumlara örnek olarak, pik taban deplasmanı yanıtlarının $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$ durumunda $M_w = 6.0$ büyüklüğündeki depremlerin (özellikle $r = 3$ km, 5 km ve 7 km) artan H/R oranı ile azalması verilebilir. Ayrıca $M_w = 7.0$ ve $r = 3$ km deprem kaydı için $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, $\zeta = \%10$ ve $H/R = 0.50$ durumunda pik taban deplasmanı yanıtı 91.19 cm değerindeyken, $H/R = 0.75$ için 83.79 cm'e düşmüş ve $H/R = 2.00$ değerinde 107.92 cm'e çıkmıştır (Şekil 4.38 (b)). Pik çalkantı deplasmanı yanıtları da genel olarak artan H/R oranı ile artmaktadır (Şekil 4.39). Pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti ve pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtları açısından ise, H/R oranındaki artışın yanıtları arttırdığı görülmüştür (Şekil 4.40 ve 4.41). H/R oranındaki artışın pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtlarını önce bir miktar arttırdığı ve ardından azalttığı görülmektedir (Şekil 4.42). Örneğin $M_w = 7.0$ ve $r = 3$ km deprem kaydı için $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, $\zeta = \%10$ ve $H/R = 0.50$ durumunda pik çalkantı kaynaklı kesme kuvveti yanıtının izolasyon sistemi üzerindeki toplam yapı ağırlığına oranı $\%7.05$ değerindeyken, $H/R = 1.00$ için $\%8.56$ 'ya çıkmış ve $H/R = 2.00$ değerinde $\%5.98$ 'e düşmüştür (Şekil 4.42 (b)).

4.3. İLAVE VİSKOZ SÖNÜMLEYİCİ KULLANILMAYAN VE KULLANILAN DURUMLARIN ORTALAMA YANITLAR ÜZERİNDEN KARŞILAŞTIRMALI OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ

Deprem çalışmalarında, genel eğilimler tipik olarak farklı depremler altında ortaya çıkan dinamik yanıtların ortalamaları üzerinden belirlenir. Dolayısıyla, çalışmanın bu kısmında, tarihi yakın ve uzak fay ve sentetik deprem kayıtları altında ilave viskoz sönümleyici kullanılmayan farklı Q/W oranlarına sahip taban izolasyonlu sıvı depolama tanklarının sismik yanıtları, $Q/W = \%5$ orana sahip tanklarda farklı sönüm oranlarında ilave viskoz sönümleyiciler kullanılması durumunda elde edilen sismik yanıtlarla ortalama değerler üzerinden karşılaştırılmıştır. Bu kapsamda, Şekil 4.43, 4.44, 4.45, 4.46 ve 4.47'de sırasıyla pik taban deplasmanı, pik çalkantı deplasmanı, pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti, pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti ve pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtlarının her birinin ortalama değerleri (a) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, yakın fay deprem kayıtları, (b) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, uzak fay deprem kayıtları, (c) $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, sentetik deprem kayıtları, (d) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, yakın fay deprem kayıtları, (e) $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, uzak fay deprem kayıtları ve (f) T_0

= 4 s, $h/R = 0.001$, sentetik deprem kayıtları için verilmiştir. Ayrıca, bu yanıtların yorumlanmasında kolaylık sağlaması açısından, $T_0 = 2$ s izolasyon periyoduna sahip sistem yanıtlarının $T_0 = 4$ s izolasyon periyodu için elde edilenlere oranlarının sunulduğu grafikler ile $\zeta = \%10, \%20, \%30$ ve $Q/W = \%7.5, \%10$ parametreleri için elde edilen yanıtların $Q/W = \%5$ karakteristik kuvvet oranına sahip sistemler için elde edilen yanıtlara oranlarının verildiği grafikler *EK-11*'de sunulmuştur.

Grafikler, $T_0 = 2$ s ve 4 s, $H/R = 0.50, 0.75, 1.00, 1.25, 1.50, 1.75$ ve 2.00 durumları ile yakın fay, uzak fay veya sentetik deprem kaydından elde edilmiş olmalarına, ilave sönümleyici kullanılmayan durumda karakteristik kuvvet oranlarına ($Q/W = \%5, \%7.5$ ve $\%10$) ve ilave sönümleyici kullanılan durumda ilave viskoz sönüm oranlarına ($\zeta = \%10, \%20$ ve $\%30$) bağlı olarak sınıflandırılmıştır. Önceki bölümlerde de belirtildiği gibi h/R oranının 0.001 veya 0.004 olmasının yapısal yanıtlara olan etkisinin diğer parametrelere kıyasla çok daha az olduğu görüldüğünden, söz konusu ortalama değerler h/R oranının sadece 0.001 olduğu durum için incelenmiştir.

Bu kısımda ana sistem, ilave sönümleyici kullanılmayan $Q/W = \%5$ karakteristik kuvvet oranına sahip sistemdir. Sistemin yetersiz olması durumunda Q/W karakteristik kuvvet oranının arttırılması seçeneği ile $Q/W = \%5$ karakteristik kuvvet oranına ek olarak ilave sönümleyici kullanılması seçeneği karşılaştırılmıştır.

Şekil 4.43'ten görülebileceği gibi yakın fay özelliği gösteren tarihi ve sentetik deprem kayıtları altında artan karakteristik kuvvet oranı değerleri ortalama pik taban deplasmanı yanıtlarını azaltmıştır. Uzak fay deprem kayıtları altında da benzer davranış gözlemlense de bu durumun $T_0 = 4$ s izolasyon periyoduna sahip sistemlerde istisnalar içerebildiği de görülmüştür. $Q/W = \%5$ karakteristik kuvvet oranına sahip sistemlere ilave sönümleyicilerin eklenmesi durumunda ise artan ilave sönüm oranı, ortalama pik taban deplasmanı yanıtlarını daima azaltmaktadır (Şekil 4.43). Tez kapsamında dikkate alınan en yüksek Q/W oranı ($\%10$) ile ulaşılamayan düşüklükteki pik taban deplasmanı değerlerine, yüksek ζ değerleri sayesinde ulaşılabildiği görülmüştür. Örneğin, tarihi yakın fay deprem kayıtları altında $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, $H/R = 2.00$ ve $Q/W = \%5$ durumunda ortalama pik taban deplasmanı yanıtı 38.45 cm değerindeyken karakteristik kuvvet oranının $\%10$ 'a çıkarılması ile 30.38 cm'e kadar azaltılabildiği ancak $Q/W = \%5$ olan sisteme ek olarak $\zeta = \%30$ ilave sönüm oranına sahip sönümleyicilerin eklenmesi sayesinde 19.63 cm'e azaltılabildiği görülmüştür (Şekil 4.43 (a)). Öte yandan, karakteristik

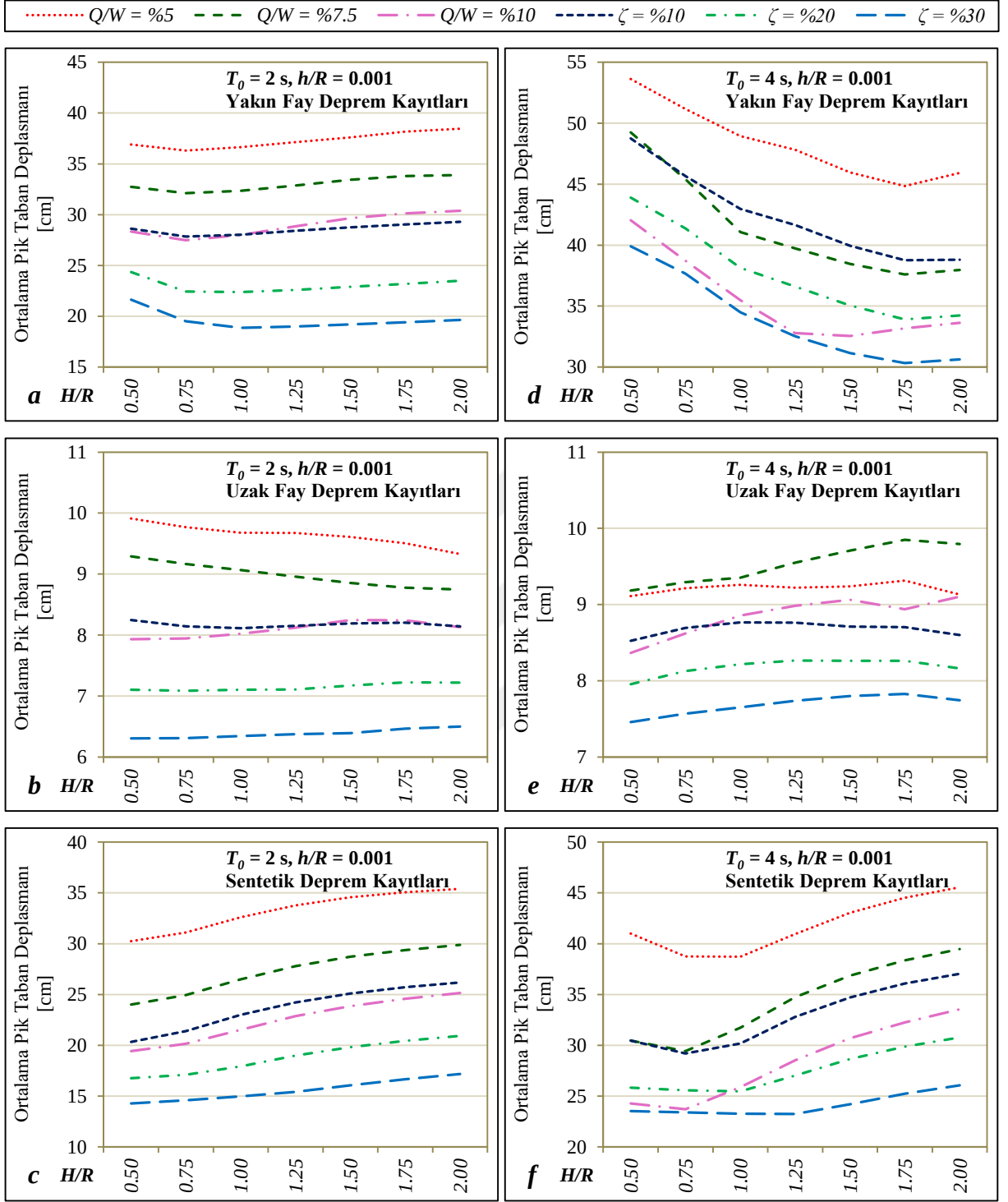
kuvvet oranının düşük olduğu bir sisteme ($Q/W = \%5$) sönüm oranı düşük olan ilave sönümleyiciler eklemenin ortalama pik taban deplasmanı yanıtlarını, ilave sönümleyici kullanılmayan yüksek Q/W karakteristik kuvvet oranına sahip sistemlerden daha az azaltılabildiği görülmüştür. Örneğin tarihi yakın fay deprem kayıtları altında $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, $H/R = 0.50$ ve $\zeta = \%10$ durumunda ortalama pik taban deplasmanı yanıtı 48.74 cm değerindeyken ilave sönümleyici kullanılmaması ve $Q/W = \%10$ alınması durumunda aynı yanıtın 42.05 cm'e azaltılabildiği görülmüştür (Şekil 4.43 (b)). Dolayısıyla, pik taban deplasmanı yanıtı açısından yüksek performans sağlayabilmek için $Q/W = \%5$ karakteristik kuvvet oranına ek olarak yüksek sönüm oranına sahip sönümleyicilerin eklenmesi gerekmektedir. Ayrıca, uzak fay deprem kayıtları altında elde edilen yanıtların yakın fay deprem kayıtları altındaki yanıtlara kıyasla oldukça küçük olduğu ve dolayısıyla pik taban deplasmanı yanıtları açısından tasarım sırasında karakteristik kuvvet oranı veya ilave sönüm oranı değerlerinin seçiminde etkilerinin az olacağı görülmüştür (Şekil 4.43).

Karakteristik kuvvet oranı değerlerinin artması ile ortalama pik çalkantı deplasmanı yanıtları genel olarak azalma eğilimindedir (Şekil 4.44). Bu sıralamada farklılıkların olduğu istisnai durumlara örnek olarak uzak fay deprem kayıtları altında $T_0 = 4$ s ve yüksek H/R oranları için $Q/W = \%7.5$ karakteristik kuvvet oranına sahip sistemlerin $Q/W = \%5$ olanlara göre daha büyük yanıtlar vermesi verilebilir (Şekil 4.44 (e)). $Q/W = \%5$ karakteristik kuvvet oranına sahip sistemlere ilave sönümleyicilerin eklenmesi durumunda artan ilave sönüm oranı, ortalama pik çalkantı deplasmanı yanıtlarını azaltmaktadır (Şekil 4.44). Tez kapsamında dikkate alınan en yüksek Q/W oranı ($\%10$) ile ulaşılamayan düşüklükteki pik çalkantı deplasmanı değerlerine yüksek ζ değerleri sayesinde ulaşılabildiği görülmüştür. Örneğin, tarihi yakın fay deprem kayıtları altında $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, $H/R = 2.00$ ve $Q/W = \%5$ durumunda talep edilen ortalama pik çalkantı deplasmanı yanıtı 132.80 cm değerindeyken karakteristik kuvvet oranının $\%10$ 'a çıkarılması ile 124.90 cm'e azaltılabildiği ancak $Q/W = \%5$ olan sisteme ek olarak $\zeta = \%30$ sönüm oranına sahip sönümleyicilerin eklenmesi sayesinde de 117.45 cm'e azaltılabildiği görülmektedir (Şekil 4.44 (a)). Öte yandan, karakteristik kuvvet oranının düşük olduğu bir sisteme ($Q/W = \%5$) ilave sönüm oranı düşük olan ilave sönümleyiciler eklemenin ortalama pik çalkantı deplasmanı yanıtlarını, ilave sönümleyici kullanılmayan yüksek Q/W karakteristik kuvvet oranına sahip sistemlerden daha az azaltılabildiği görülmüştür. Örneğin sentetik yakın fay deprem kayıtları altında $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, $H/R = 2.00$ ve $\zeta = \%10$ durumunda ortalama pik çalkantı deplasmanı yanıtı 86.00 cm değerindeyken ilave sönümleyici kullanılmaması ve

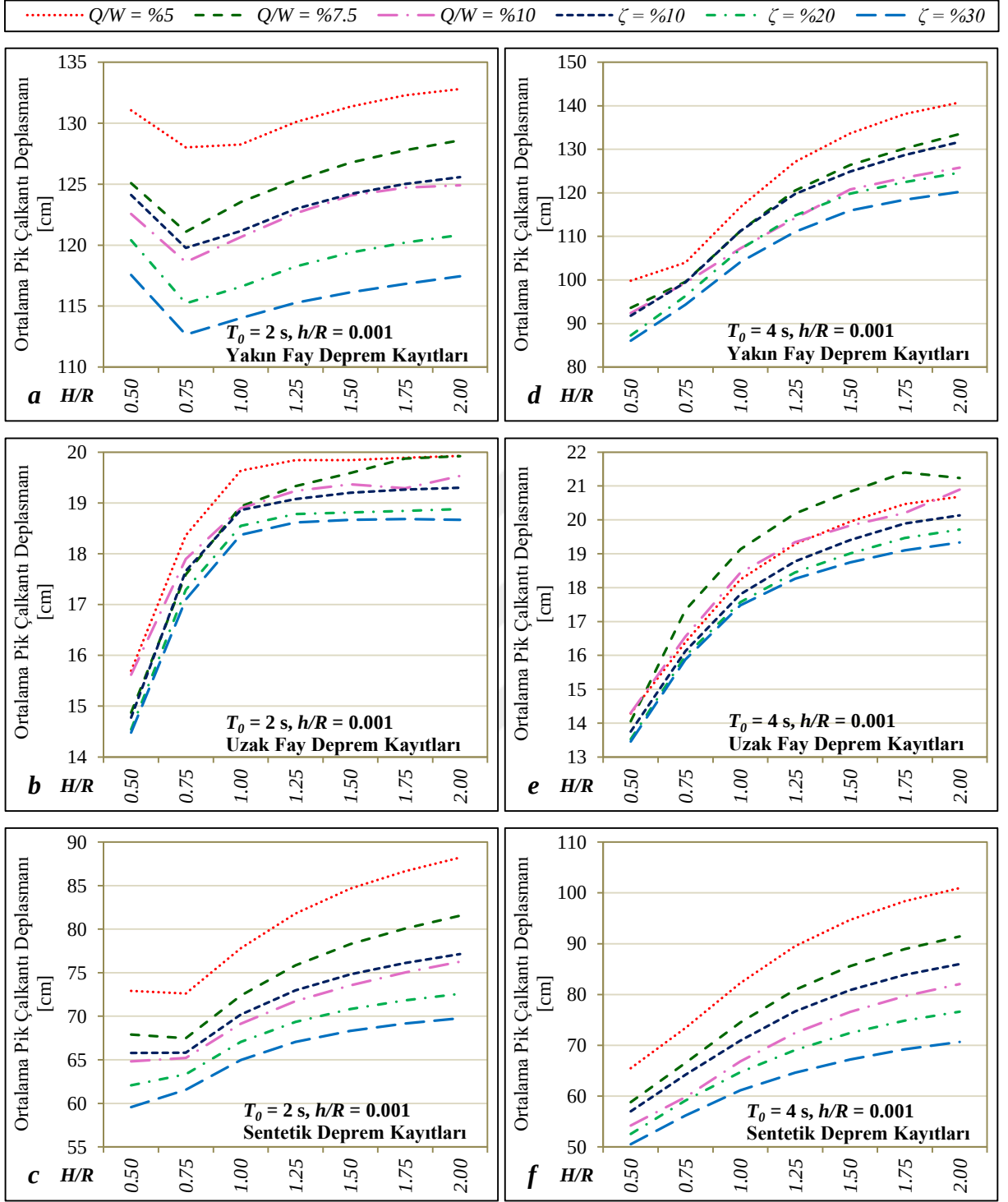
$Q/W = \%10$ alınması durumunda aynı yanıtın 82.05 cm'e azaltılabildiği görülmüştür (Şekil 4.44 (f)). Dolayısıyla, pik çalkantı deplasmanı yanıtı açısından yüksek performans sağlayabilmek için $Q/W = \%5$ karakteristik kuvvet oranına ek olarak yüksek sönüm oranına sahip sönümleyicilerin eklenmesi gerekmektedir. Ayrıca, uzak fay deprem kayıtları altında elde edilen yanıtların yakın fay deprem kayıtları altındaki yanıtlara kıyasla oldukça küçük olduğu ve dolayısıyla pik çalkantı deplasmanı yanıtları açısından tasarım sırasında karakteristik kuvvet oranı veya ilave sönüm oranı değerlerinin seçiminde etkilerinin az olacağı görülmüştür (Şekil 4.44).

Ortalama pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtlarının, karakteristik kuvvet oranı ve ilave sönüm oranı parametreleri açısından pik çalkantı deplasmanı yanıtları ile benzerlik gösterdiği görülmektedir (Şekil 4.47). Dolayısıyla burada da yüksek performans için $Q/W = \%5$ karakteristik kuvvet oranına ek olarak yüksek sönüm oranına sahip sönümleyicilerin eklenmesinin gerekliliği anlaşılmıştır.

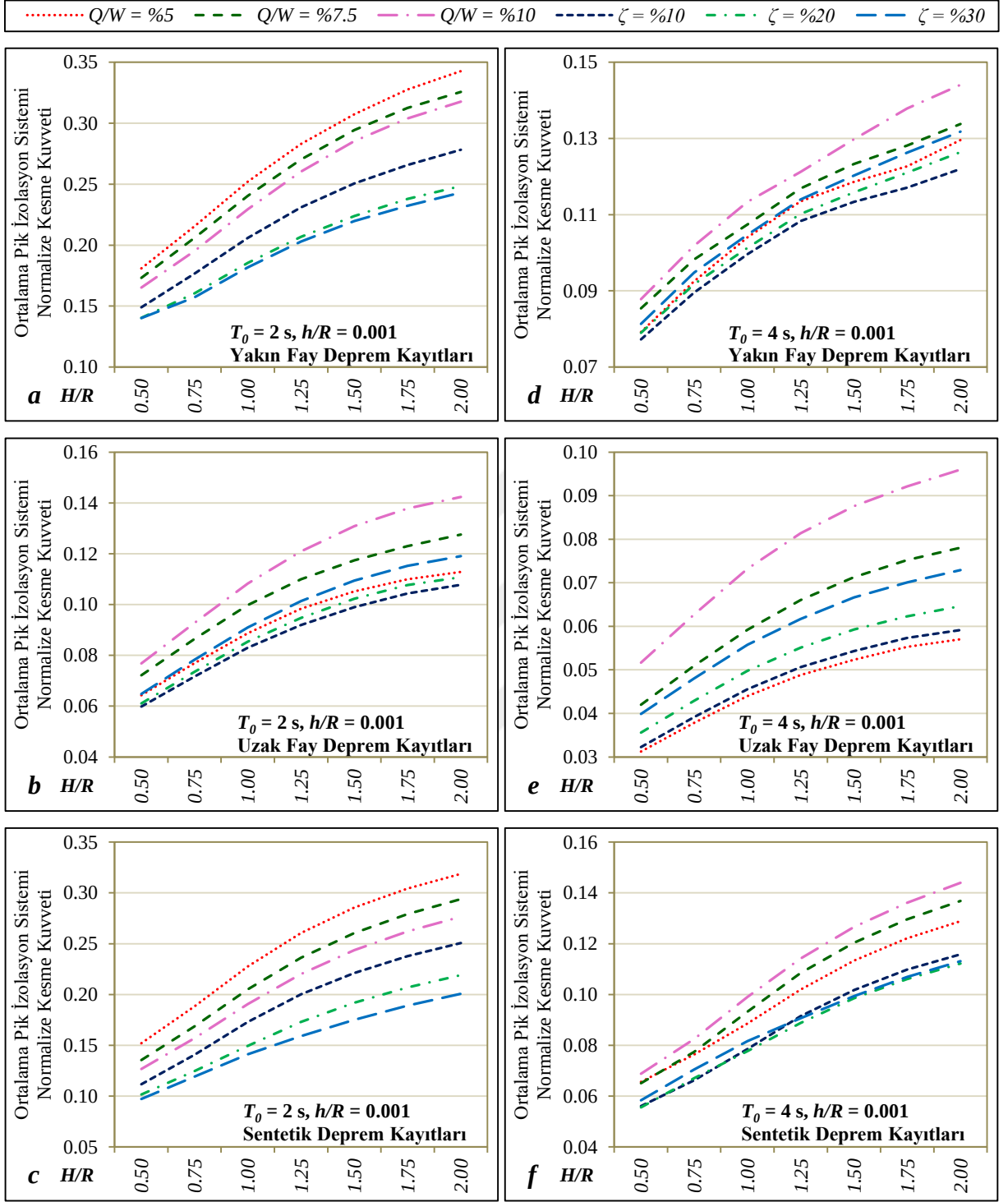
Ortalama pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti ve ortalama pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtlarının karakteristik kuvvet oranının artması ile yakın fay özelliği sergileyen tarihi ve sentetik deprem kayıtları altında ($T_0 = 2$ s için) azalabildiği veya ($T_0 = 4$ s için) artabildiği, uzak fay deprem kayıtları altında ise arttığı görülmüştür (Şekil 4.45 ve 4.46). Benzer davranışın $Q/W = \%5$ karakteristik kuvvet oranına sahip sistemlere ilave sönümleyicilerin eklenmesi durumunda da genel olarak geçerli olduğu görülmüştür (Şekil 4.45 ve 4.46). Örneğin tarihi yakın fay deprem kayıtları altında $T_0 = 2$ s, $h/R = 0.001$, $H/R = 2.00$ ve $Q/W = \%5$ durumunda ortalama pik izolasyon sistemi kesme kuvvetinin izolasyon sistemi üzerindeki toplam yapı ağırlığına oranı $\%34.27$ değerindeyken, $Q/W = \%10$ karakteristik kuvvet oranı ve $\zeta = \%30$ ilave sönüm oranına sahip sönümleyiciler sayesinde sırasıyla $\%31.78$ ve $\%24.30$ değerlerine azaltılabildiği görülmektedir. Öte yandan tarihi yakın fay deprem kayıtları altında $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, $H/R = 2.00$ ve $Q/W = \%5$ durumunda ortalama pik izolasyon sistemi kesme kuvvetinin izolasyon sistemi üzerindeki toplam yapı ağırlığına oranı $\%12.96$ değerindeyken, $Q/W = \%10$ karakteristik kuvvet oranı ve $\zeta = \%30$ ilave sönüm oranına sahip sönümleyiciler yüzünden sırasıyla $\%14.41$ ve $\%13.18$ değerlerine artabildiği görülmektedir. Dolayısıyla, pik taban deplasmanı, pik çalkantı deplasmanı ve pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtları açısından yüksek performans sağlayabilmek için $Q/W = \%5$ karakteristik kuvvet oranına ek olarak yüksek sönüm oranına sahip sönümleyicilerin



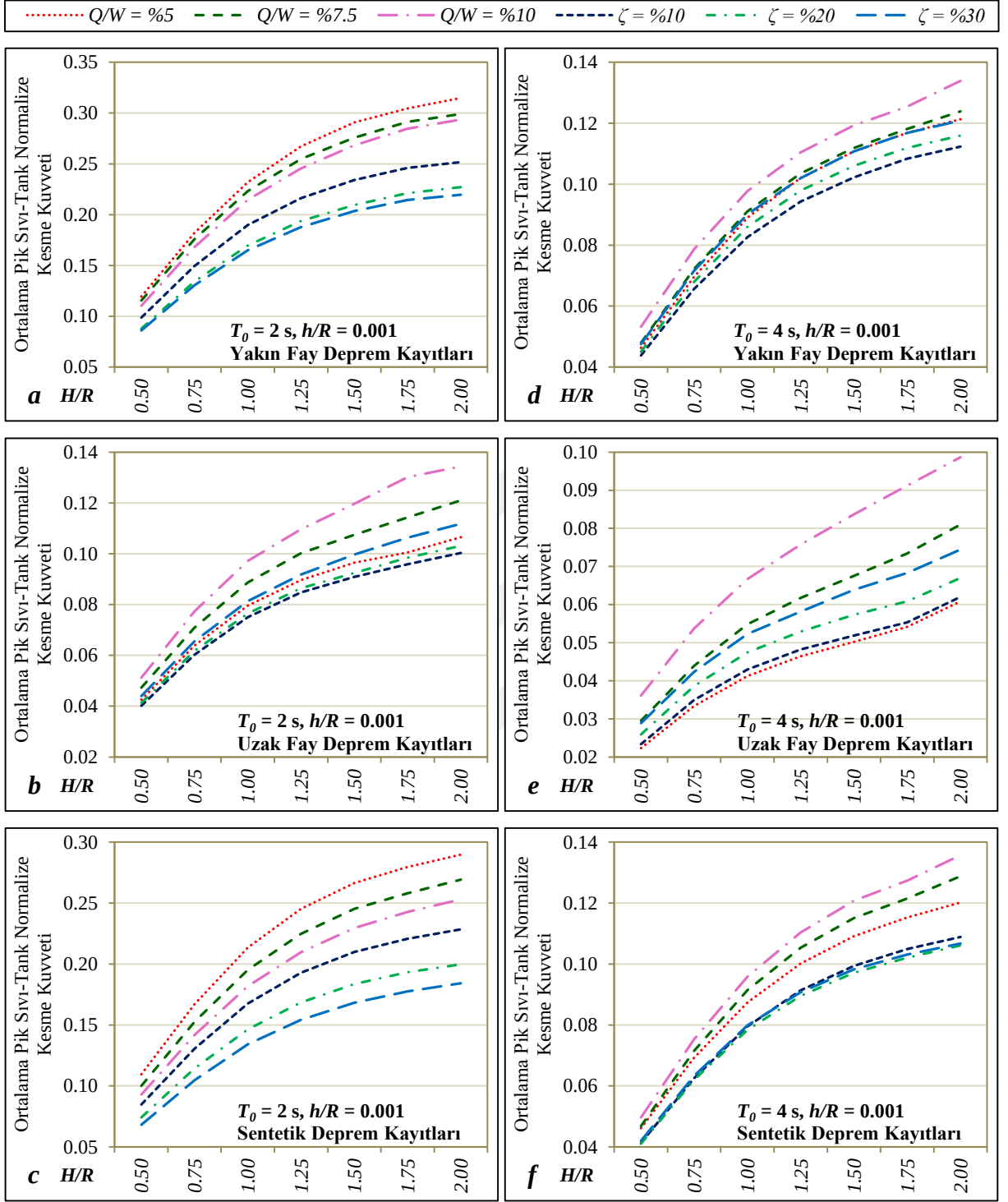
Şekil 4.43: $T_0 = 2 \text{ s}$ ve $T_0 = 4 \text{ s}$ izolasyon periyoduna sahip sistemlerin yakın fay (a ve d), uzak fay (b ve e) ve sentetik (c ve f) deprem kayıtları altında farklı Q/W ve farklı ζ oranları için elde edilen ortalama pik taban deplasmanı yanıtları (Not: ζ değerleri $Q/W = \%5$ 'e ek olarak uygulanmıştır).



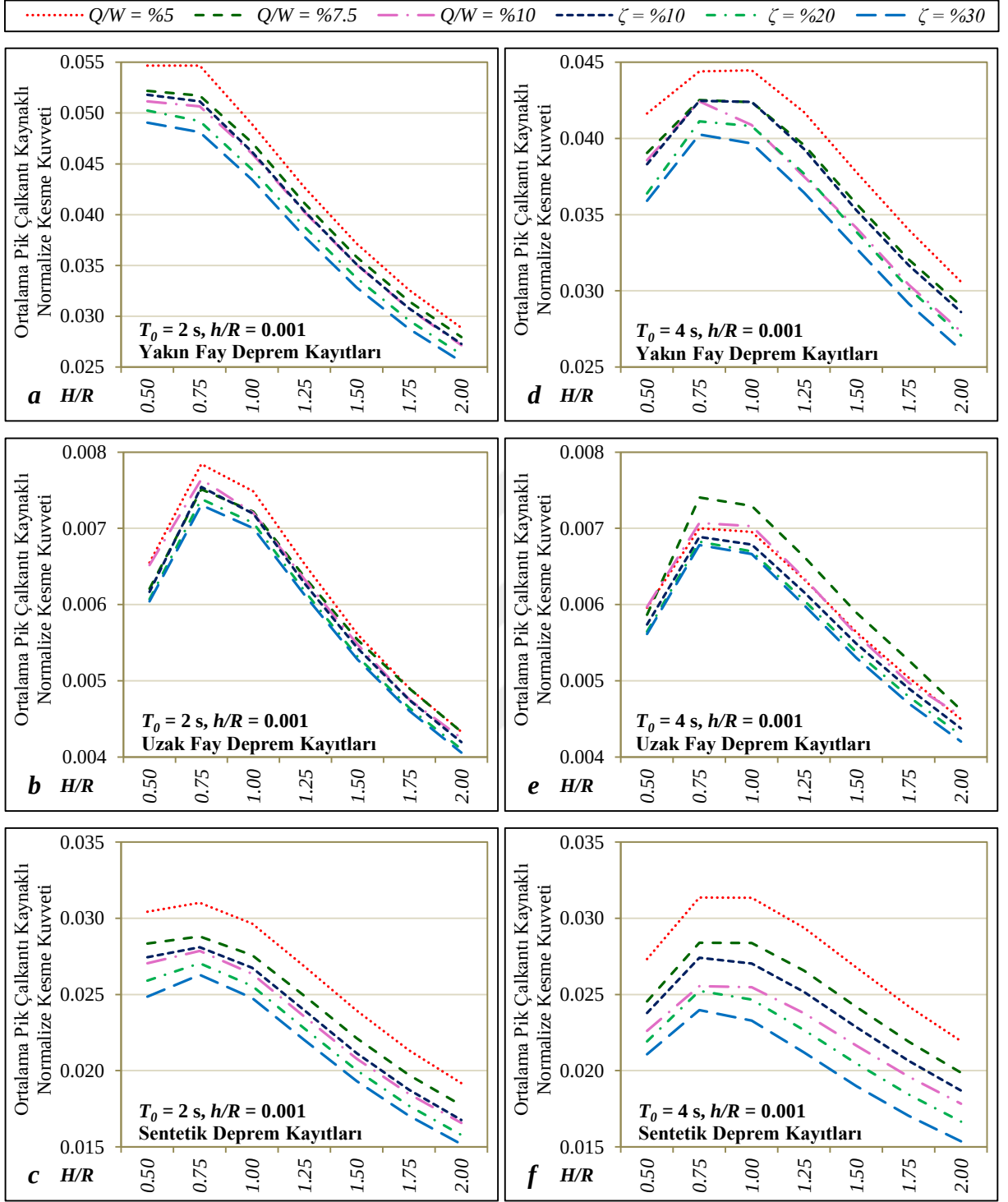
Şekil 4.44: $T_0 = 2$ s ve $T_0 = 4$ s izolasyon periyoduna sahip sistemlerin yakın fay (a ve d), uzak fay (b ve e) ve sentetik (c ve f) deprem kayıtları altında farklı Q/W ve farklı ζ oranları için elde edilen ortalama pik çalkantı deplasmanı yanıtları (Not: ζ değerleri $Q/W = \%5$ 'e ek olarak uygulanmıştır).



Şekil 4.45: $T_0 = 2$ s ve $T_0 = 4$ s izolasyon periyoduna sahip sistemlerin yakın fay (a ve d), uzak fay (b ve e) ve sentetik (c ve f) deprem kayıtları altında farklı Q/W ve farklı ζ oranları için elde edilen ortalama pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti yanıtları (Not: ζ değerleri $Q/W = \%5$ 'e ek olarak uygulanmıştır).



Şekil 4.46: $T_0 = 2$ s ve $T_0 = 4$ s izolasyon periyoduna sahip sistemlerin yakın fay (a ve d), uzak fay (b ve e) ve sentetik (c ve f) deprem kayıtları altında farklı Q/W ve farklı ζ oranları için elde edilen ortalama pık sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtları (Not: ζ değeri $Q/W = \%5$ 'e ek olarak uygulanmıştır).



Şekil 4.47: $T_0 = 2$ s ve $T_0 = 4$ s izolasyon periyoduna sahip sistemlerin yakın fay (a ve d), uzak fay (b ve e) ve sentetik (c ve f) deprem kayıtları altında farklı Q/W ve farklı ζ oranları için elde edilen ortalama pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtları (Not: ζ değerleri $Q/W = \%5$ 'e ek olarak uygulanmıştır).

eklenmesi durumunun pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti ve pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtları açısından sakıncalı olabileceği açıktır. Ancak yine de, $Q/W = \%5$ karakteristik kuvvet oranına ek olarak yüksek sönüm oranlarına sahip sönümleyiciler eklemenin yanıtları tez kapsamında dikkate alınan en yüksek karakteristik kuvvet oranı olan $Q/W = \%10$ için elde edilen kesme kuvveti yanıtlarına göre daha az arttırdığı veya azalttığı görülmüştür. Örneğin sentetik deprem kayıtları altında $T_0 = 4$ s, $h/R = 0.001$, $H/R = 2.00$ ve $Q/W = \%5$ durumunda ortalama pik izolasyon sistemi kesme kuvvetinin izolasyon sistemi üzerindeki toplam yapı ağırlığına oranı $\%12.89$ değerindeyken, $Q/W = \%10$ karakteristik kuvvet oranı için $\%14.39$ değerine çıkmış, buna karşın $\zeta = \%30$ ilave sönüm oranına sahip sönümleyiciler sayesinde $\%11.32$ değerine düşmüştür.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Çalışmada, taban izolasyonlu sıvı depolama tanklarının deprem davranışına ilave sönümleyicilerin etkisini araştırmak amacıyla ilave viskoz sönümleyici kullanılmayan ve ilave viskoz sönümleyici kullanılan sıvı depolama tankı modelleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Eklenen ilave sönümleyicilerin taban deplasmanlarını azaltmadaki etkinliği ile diğer yapısal yanıtlar üzerindeki etkileri ilave sönümleyici kullanılmayan durum ile karşılaştırmalı olarak tarihi yakın fay ve uzak fay deprem kayıtları altında değerlendirilmiştir. Ayrıca, sentetik olarak üretilen yakın fay depremleri sayesinde, farklı moment büyüklüklerindeki yakın fay depremlerinin fay hattına olan en yakın mesafeye göre taban izolasyonlu sıvı depolama tanklarının üzerinde yaratacakları sismik etki de sistematik olarak incelenmiştir.

Mevcut tez çalışması kapsamında, ince cidarlı ve silindirik geometriye sahip çelik sıvı depolama tankı (üstyapı) ve bu tankın üzerine oturtulduğu betonarme taban plakasının altına yerleştirilmiş kauçuk esaslı izolatörler ile eğer varsa ilave sönümleyicilerden oluşan izolasyon sistemi olmak üzere iki ana kısımdan oluşan taban izolasyonlu sıvı depolama tankı modelleri dikkate alınmıştır. Burada, üstyapının sismik davranışını belirleyen temel parametreler, sıvı yüksekliğinin tank yarıçapına oranı ($H/R = 0.50, 0.75, 1.00, 1.25, 1.50, 1.75$ ve 2.00) ve tank kalınlığının tank yarıçapına oranı ($h/R = 0.001$ ve 0.004) olarak kabul edilirken, izolasyon sisteminin karakteristik özellikleri ise, izolasyon periyodu ($T_0 = 2$ s ve 4 s) ve izolasyon sistemi sönüm seviyesinin bir göstergesi olan karakteristik kuvvetin yapı toplam ağırlığına oranı ($Q/W = \%5, \%7.5$ ve $\%10$) parametreleri için incelenmiştir. İlave sönümleyici kullanılan durumda ise, ayrıca ilave sönüm oranı ($\zeta = \%10, \%20$ ve $\%30$) parametreleri incelemeye dahil edilmiş olup bu durum için $h/R = 0.001$ ve $Q/W = \%5$ dikkate alınmıştır. İncelenen tüm bu farklı kombinasyonlar sayesinde, taban izolasyonlu sıvı depolama tankının dinamik davranışını farklı şekilde etkileyebilecek önemli üstyapı geometrisi ve izolasyon sistemi karakteristik özelliklerinin değişiminin sismik davranışı nasıl etkilediği yapılan parametrik çalışma vasıtasıyla ortaya konmuştur.

Analizler sonucunda, pik taban deplasmanı, pik çalkantı deplasmanı, pik izolasyon sistemi kesme kuvveti, pik sıvı-tank kesme kuvveti ve pik çalkantı kaynaklı kesme kuvveti yapısal yanıtları elde edilmiştir. Kesme kuvveti yanıtlarının izolasyon sistemi üzerindeki toplam yapı

ağırlığına göre normalize değerleri elde edilmiş ve karşılaştırmalarda da bu normalize değerler kullanılmıştır. Tarihi depremlerde genel eğilimleri belirleyebilmek için ve tüm deprem kayıtları altında ilave sönümleyici kullanılmayan ve ilave sönümleyici kullanılan durumları karşılaştırabilmek için ise farklı deprem kayıtları altında elde edilen her bir yapısal yanıtın ortalama değerleri ayrıca hesaplanmıştır. Bu yanıtların değerlendirilmesi neticesinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

1. Yakın fay depremlerinde, fay hattına olan mesafe azaldıkça ve deprem moment büyüklüğü arttıkça, incelenen tüm yapısal yanıtlarda genellikle artma eğilimi görülmüştür. Özellikle sentetik yakın fay depremleri için yapılan incelemede, ilave viskoz sönümleyicisiz, düşük Q/W oranına sahip, uzun izolasyon periyotlu sistemlerden bir tanesinde, büyük depremler ($M_w = 7.0$) ile faya çok yakın mesafeler ($r = 3$ km) söz konusu olduğunda bu durumdan en çok etkilenen yapısal yanıtlardan pik taban deplasmanı isteminin 139.50 cm, çalkantı deplasmanı isteminin ise özellikle boy oranı $H/R = 2.00$ olan çok narin sistemlerde 339.60 cm gibi çok yüksek seviyelere çıkabileceği ortaya konmuştur.

2. İncelenen tüm yapısal yanıtların yakın fay tarihi deprem kayıtları altındaki ortalama değerleri uzak fay tarihi deprem kayıtları altındakilerden belirgin bir şekilde yüksektir. En büyük farklılık ise taban deplasmanları, çalkantı deplasmanları ve çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvvetlerinde ortaya çıkmış olup bu yanıtlar için yakın fay depremleri ortalamaları uzak fay depremleri ortalamalarının yaklaşık 6 katına kadar çıkabilmektedir.

3. Literatürdeki önceki çalışmalarla uyumlu olacak şekilde, izolasyon periyodundaki artışın genellikle taban deplasmanı istemini arttırdığı görülmüştür. İzolasyon sistemi normalize kesme kuvveti ve sıvı-tank normalize kesme kuvveti istemleri ise artan izolasyon periyoduna bağlı olarak incelenen tüm durumlar için azalmıştır. Öte yandan, izolasyon periyodundaki artışın çalkantı deplasmanı ve çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvvetini özellikle yakın fay deprem kayıtları için genel olarak azalttığı, uzak fay deprem kayıtları için ise artış veya azalışlara sebep olabildiği görülmektedir. Artan izolasyon periyodunun çalkantı deplasmanı ve çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvvetinde artışa sebep olduğu durumlar daha çok yüksek H/R oranları için görülmektedir.

4. İzolasyon sistemindeki sönüm seviyesini temsil eden karakteristik kuvvet oranındaki artışın çok nadir durumlar hariç taban deplasmanı istemlerini azalttığı, çalkantı deplasmanı istemlerini

ise genel olarak azaltmakla birlikte orta seviyeden ($Q/W = \%7.5$) yüksek seviyeye ($Q/W = \%10$) geçildiğinde özellikle uzak fay depremleri altında belirgin artışlara da sebep olabildiği görülmüştür. Q/W oranının artması izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti ve sıvı-tank normalize kesme kuvveti istemlerini yakın fay depremleri için azaltabildiği gibi arttırabilmekte de olup uzak fay depremlerinde ise artışa sebep olmaktadır. Q/W oranındaki artış genellikle çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtlarını azaltmakla birlikte özellikle uzak fay depremlerinde artışlara da sebep olabilmektedir.

5. Üstyapının esnekliğinin bir göstergesi olan H/R oranının taban deplasmanları üzerinde, özellikle de yakın fay depremleri altında kayda değer etkilerinin olabileceği ancak bu orandaki artışın taban deplasmanını arttırabileceği gibi azaltabileceği de ortaya konmuştur. H/R oranındaki artışın çalkantı deplasmanı, izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti ve sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtlarını bazı istisnai durumlar hariç arttırdığı ortaya çıkmıştır. Çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtlarının ise genellikle H/R oranındaki artışa paralel olarak önce bir miktar arttığı ve sonra H/R 'de devam eden artışla azaldığı, bazı durumlarda ise monotonik olarak azaldığı görülmektedir.

6. Üstyapı esnekliğinin bir göstergesi olan h/R oranının incelenen tüm yapısal yanıtları $\pm \%5 \sim \%10$ mertebesinde etkilediği ortaya konmuştur.

7. İlave sönümleyici kullanılmayan durumda dikkate alınan en yüksek Q/W oranı ($Q/W = \%10$) ile ulaşılamayan düşüklükteki taban deplasmanı, çalkantı deplasmanı ve çalkantı kaynaklı kesme kuvveti değerlerine yüksek ilave sönüm oranları ($\zeta = \%20$ ve $\%30$) sayesinde ulaşılabildiği görülmüştür. Ancak $Q/W = \%5$ karakteristik kuvvet oranına sahip sistemlere sönüm oranı düşük olan sönümleyiciler ($\zeta = \%10$) eklenmesi durumunda oluşan bu istemlerin ilave sönümleyici kullanılmayan durumda yüksek Q/W oranlarına sahip ($Q/W = \%7.5$ ve $\%10$) sistemler için oluşan istemlerden daha fazla olabildiği görülmüştür. Taban deplasmanı, çalkantı deplasmanı ve çalkantı kaynaklı kesme kuvveti yanıtları açısından yüksek performans sağlayabilmek için $Q/W = \%5$ karakteristik kuvvet oranına sahip sisteme yüksek oranda sönüme sahip sönümleyicilerin eklenmesi durumunda ise izolasyon sistemi kesme kuvveti ve sıvı-tank kesme kuvveti yanıtları açısından performansı negatif yönde etkileyebilecek durumların oluşabileceği görülmüştür.

8. İlave viskoz sönüm oranındaki (ζ) artışın taban deplasmanı ve çalkantı deplasmanı istemlerini genel olarak azalttığı ancak bazı durumlarda çalkantı deplasmanlarında çok önemli değişimlere yol açmadığı görülmüştür. ζ oranının artması izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti ve sıvı-tank normalize kesme kuvveti istemlerini yakın fay depremleri için azaltabildiği gibi arttırabilmekte olup uzak fay depremlerinde ise artışa sebep olmaktadır. ζ oranındaki artış genellikle çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtlarını azaltmakla birlikte uzak fay depremlerinde artışlara da sebep olabilmektedir.

Bu tezde gerçekleştirilen analizler yardımıyla ortaya konduğu ve yukarıda detaylı olarak irdelendiği üzere, sismik izolasyonlu sıvı depolama tanklarının yapısal tepkileri, üstyapı karakteristiği (H/R ve h/R), izolasyon sistemi karakteristiği (T_0 , Q/W ve ζ) ve deprem karakteristiği (yakın fay depremleri için deprem büyüklüğü ve fay mesafesi; uzak fay depremleri için frekans içeriği) değişkenlerine bağlı olarak önemli farklılıklar göstermektedir. İstenilen sismik performansa uygun sismik izolasyonlu sıvı depolama tankı, ancak farklı yapısal tepkiler birlikte değerlendirilerek ve H/R , h/R , T_0 , Q/W ve/veya ζ oranlarının uygun kombinasyonları ile tasarlanabilir. Bu tez ile, söz konusu parametrelerdeki değişimin tez kapsamında incelenen yapısal tepkileri ne yönde ve hangi düzeyde etkilediği ortaya konmuş olup yeni yapılacak tasarımlara ışık tutması beklenmektedir. Ayrıca, sismik izolasyonun, sıvı depolama tanklarının yapısal tepkilerini uzak fay depremlerinde makul düzeylerde tutmasına karşın büyük yakın fay depremleri söz konusu olduğunda özellikle taban ve çalkantı deplasmanlarının çok yüksek seviyelere çıkabileceği ve bu tankların güvenliği bakımından büyük deprem üretebilecek fay hatlarına yakın bölgelerde bu durumun özellikle dikkate alınması gerektiği belirlenmiştir. İlave viskoz sönümleyici kullanılmasının bu duruma bir ölçüde çözüm sağlayabileceği görülmüştür.

Bu tez kapsamında yapılan incelemelerde zemin-yapı etkileşimi, yer hareketi düşey bileşen etkisi ve topografik etkiler dikkate alınmamıştır. Tanklar tam dolu ($H \cong L$) olarak kabul edilmiş ve farklı doluluk durumları incelenmemiştir. Ayrıca, suyun tank seviyesini geçerek kapak içerisinde hareket etmek suretiyle tekrar tanka kavuşması döngüsünün etkisi ihmal edilmiştir. İzolasyon sisteminin tamamen simetrik olduğu kabul edilmiş, yani dış merkezlilik dikkate alınmamıştır. Zaman tanım alanı analizlerinde ise uyarımlar tek yönlü olarak dikkate alınmıştır. Gelecekte bu konu ile ilgili yapılacak çalışmalarda, bu kısıtların kaldırıldığı haller için sonuçların ne yönde etkileneceği araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- ACI 350.3, 2001: *Seismic design of liquid containing concrete structures*, An American concrete institute standard.
- ACI 371, 1998: *Guide for the analysis, design and construction of concrete pedestal water towers*, An American concrete institute standard, Farmington Hills, MA.
- Agrawal, A.K., and He, W.-L., 2002, A closed-form approximation of near-fault ground motion pulses for flexible structures, *15th ASCE Engineering mechanics conference*, 2-5 June 2002 Columbia University, New York, NY.
- Agrawal, A.K., He, W.L. and Yang, J.N., 2002, Performance evaluation of semi-active control systems for a benchmark cable-stayed bridge, *Proceedings of the 7th U.S. National Conference on Earthquake Engineering*, 21-25 July, Boston, MA.
- Alavi, B. and Krawinkler, H., 1999, Effect of near-fault ground motions on the response to frame structures, *ASCE Structures Congress*, in Reston.
- Alavi, B. and Krawinkler, H., 2000, Consideration of near-fault ground motion effects in seismic design, *12th world conference on earthquake engineering*, 30 January-4 February 2000, Auckland, New Zealand, 2665, 1-8.
- Alhan, C. and Gavin, H., 2004, A parametric study of linear and non-linear passively damped seismic isolation systems for buildings, *Engineering structures*, 26, 485-497.
- Alhan, C. and Gavin, H.P., 2005, Reliability of base isolation for the protection of critical equipment from earthquake hazards, *Engineering structures*, 27, 1435-1449.
- Alhan, C. and Öncü-Davas, S., 2016, Performance limits of seismically isolated buildings under near-field earthquakes, *Engineering structures*, 116, 83-94.
- Alhan, C. and Sürmeli, M., 2011, Shear building representations of seismically isolated buildings, *Bulletin of earthquake engineering*, 9, 1643-1671.
- Alhan, C. and Sürmeli, M., 2015, Necessity and adequacy of near-source factors for not-so-tall fixed-base buildings, *Earthquake engineering and engineering vibration*, 14, 13-26.
- Alhan, C., Gazi, H. and Güler, E., 2018, Influence of isolation system characteristic strength on the earthquake behavior of base-isolated liquid storage tanks, *Indian journal of engineering and materials sciences*, 25, 346-352.
- Alhan, C., Gazi, H. and Kurtuluş, H., 2016a, Significance of stiffening of high damping rubber bearings on the response of base-isolated buildings under near-fault earthquakes, *Mechanical systems and signal processing*, 79, 297-313.
- Alhan, C., Güler, E. and Gazi, H., 2016b, Behavior of base-isolated liquid storage tanks under synthetic near-fault earthquake pulses, *Fifth international symposium on life-cycle civil engineering*, 16 Ekim - 19 Kasım 2016 Delft, Hollanda, 515, 2415-2419.

- ANSYS, 2005: *ANSYS Multiphysics 10.0*, Ansys Inc. Southpointe, 275 Technology Drive, Canonsburg, PA 15317.
- ANSYS Fluent, 2011: *ANSYS Fluent: User's guide release 14.0.*, Ansys Inc. USA.
- API 650, 2005: *Welded storage tanks for oil storage*, American petroleum institute standard, Washington, D.C.
- ASCE 7, 2005: *Minimum design loads for buildings and other structures*, American Society of Civil Engineers (ASCE), ASCE standard, SEI/ASCE 7-02, Reston, VA.
- ASCE/SEI 7-10, 2010: *ASCE/SEI 7-10 Minimum design loads for buildings and other structures*, American Society of Civil Engineers (ASCE); 2010.
- AWWA D-100, 2005: *Welded steel tanks for water storage*, American Water Works Association, Denver, CO.
- AWWA D-110, 1995: *Wire- and strand- wound circular*, Prestressed Concrete Water Tanks, Denver, CO.
- AWWA D-115, 1995: *Circular prestressed concrete water tanks with circumferential tendons*, American Water Works Association, Denver, CO.
- Bagheri, S. and Farajian, M., 2016, Seismic response of base isolated liquid storage tanks under near fault ground motions, *Athens journal of technology and engineering*, 3 (2), 153-161.
- Banazadeh, M. and Ghanbari, A., 2017, Seismic performance assessment of steel moment-resisting frames equipped with linear and nonlinear fluid viscous dampers with the same damping ratio, *Journal of constructional steel research*, 136, 215-228.
- Bouc, R., 1967, Forced vibrations of a mechanical system with hysteresis, In: *Proc. 4th conf on nonlinear oscillations*, Prague, Czechoslovakia.
- Bougteb, Y. and Ray, T., 2018, Choice between series and parallel connections of hysteretic system and viscous damper for seismic protection of structures, *Earthquake engineering and structural dynamics*, 47, 237-244.
- Castaldo, P., Palazzo, B. and Della Vecchia, P., 2015, Seismic reliability of base-isolated structures with friction pendulum bearings, *Engineering structures*, 95, 80-93.
- Christovasilis, I.P. and Whittaker, A.S., 2008, Seismic analysis of conventional and isolated LNG tanks using mechanical analogs, *Earthquake spectra*, 24 (3), 599-616.
- Compagnoni, M.E., Curadelli, O. and Ambrosini, D., 2018, Experimental study on the seismic response of liquid storage tanks with Sliding Concave Bearings, *Journal of loss prevention in the process industries*, 55, 1-9.
- Constantinou, M.C. and Symans, M.D., 1992, *Experimental and analytical investigation of seismic response of structures with supplemental fluid viscous dampers*, Technical report

NCEER-92-0032, National center for earthquake engineering research, State University of New York at Buffalo.

- Constantinou, M.C., Symans, M.D., Tsopelas, P. and Taylor, D.P., 1993, Fluid viscous dampers in application of seismic energy dissipation and seismic isolation, *Proc. ATC-I7-1 Seminar of Seismic Isolation, Passive Energy Dissipation, and Active Control*, 2, 581-591.
- De Domenico, D. and Ricciardi, G., 2018, Improving the dynamic performance of base-isolated structures via tuned mass damper and inerter devices: a comparative study, *Struct control health monit.*, 25, e2234.
- Dicleli, M., 2006, Performance of seismic-isolated bridges in relation to near-fault ground motion and isolator characteristics, *Earthquake spectra*, 22 (4), 887-907.
- Dicleli, M. and Buddaram, S., 2007, Equivalent linear analysis of seismic-isolated bridges subjected to near-fault ground motions with forward rupture directivity effect, *Engineering structures*, 29, 21-32.
- El Damatty, A.A. and Sweedan, A.M.I., 2006, Equivalent mechanical analog for dynamic analysis of pure conical tanks, *Thin-walled structures*, 44, 429-440.
- EN 1998, 2006: *Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance-Part 4: Silos, Tanks and Pipeline*, Brussels, Belgium.
- Eurocode 8, 1998, 2006: Design provisions for earthquake resistance of structures, Part 1-General rules and Part 4 - Silos, tanks and pipelines, European committee for Standardization, Brussels.
- Fallahian, M., Mellati, A., Tehrani, M.H., Khoshnoudian, F. and Tarverdi, M., 2013, Parametric analysis of liquid storage tanks base isolated by double concave friction pendulum system, *International conference on advances in structural, civil and environmental engineering (SCEE 2013)*, 4-5 May 2013 Kuala Lumpur, Malaysia, 95-99.
- Fiore, A., Demartino, C., Greco, R., Rago, C., Sulpizio, C. and Vanzi, I., 2018, Seismic performance of spherical liquid storage tanks: a case study, *International journal of advanced structural engineering*, 10, 121-130.
- Gazi, H. and Alhan, C., 2013, Sismik izolasyon sistemi parametrelerindeki rastgele değişimlerin etkisinin Monte Carlo simülasyon metoduyla incelenmesi, *2. Türkiye deprem mühendisliği ve sismoloji konferansı*, 25-27 Eylül 2013, Hatay, Türkiye, CD-ROM.
- Gazi, H., Kazezyilmaz-Alhan, C.M. and Alhan, C., 2015, Behavior of seismically isolated liquid storage tanks equipped with nonlinear viscous dampers in seismic environment, *Tenth pacific conference on earthquake engineering building an earthquake-resilient pacific*, 6-8 November 2015, Sydney, Australia.

- Ghaemmaghami, A.R. and Kianoush, M.R., 2010, Effect of wall flexibility on dynamic response of concrete rectangular liquid storage tanks under horizontal and vertical ground motions, *Journal of structural engineering*, 136, 441-451.
- Goel, R.K., 2005, Seismic response of linear and non-linear asymmetric systems with non-linear fluid viscous dampers, *Earthquake engineering and structural dynamics*, 34, 825-846.
- Güler, E., Alhan, C. and Gazi, H., 2017a, Liquid storage tanks with linear isolation systems: Sensitivity of seismic performance to deviations in effective stiffness and damping, *2nd International conference on civil and environmental engineering*, 8-10 May 2017 Nevşehir, Türkiye, 620-629.
- Güler, E. and Alhan, C., 2015, Seismic performance comparison of linear and nonlinear viscous dampers in base-isolated buildings, *Tenth pacific conference on earthquake engineering building an earthquake-resilient pacific*, 6-8 November 2015 Sydney, Australia, 48, online.
- Güler, E., Gazi, H. and Alhan, C., 2017b, Sensitivity of the seismic performance of liquid storage tanks with nonlinear isolation systems to deviations in mechanical characteristics of the seismic isolators, *6th ECCOMAS Thematic conference on computational methods in structural dynamics and earthquake engineering*, 15-17 June 2017 Rhodes Island, Greece, C18237, on-line.
- Hall, J.F., 1998, Seismic response of steel frame buildings to near-source ground motions, *Earthquake engineering and structural dynamics*, 27, 1445-1464.
- Hall, J.F. and Ryan, K.L., 2000, Isolated buildings and the 1997 UBC near-source factors, *Earthquake spectra*, 16 (2), 393-411.
- Hall, J.F., Heaton, T.H., Halling, M.W. and Wald, D.J., 1995, Near-source ground motion and its effects on flexible buildings, *Earthquake spectra*, 11 (4), 569-605.
- Haroun, M.A. and Housner, G.W., 1981, Seismic design of liquid storage tanks, *Journal of the technical councils of ASCE*, 107, 191-207.
- Hashemi, S. and Aghashiri, M.H., 2017, Seismic responses of base-isolated flexible rectangular fluid containers under horizontal ground motions, *Soil dynamics and earthquake engineering*, 100, 159-168.
- Hashimoto, T., Fujita, K., Tsuji, M. and Takewaki, I., 2015, Innovative base-isolated building with large mass-ratio TMD at basement for greater earthquake resilience, *Fut cit environ.*, 1 (9):1-19.
- Heaton, T.H., Hall, J.F., Wald, D.J. and Halling, M.W., 1995, Response of high-rise and base-isolated buildings to a hypothetical M_w 7.0 blind thrust earthquake, *Science*, 267, 206-211.

- He, W.L. and Agrawal, A.K., 2008, An analytical model of ground motion pulses for the design and assessment of smart protective systems, *ASCE journal of structural engineering*, 134 (7), 1177-1188.
- Housner, G.W., 1963, The dynamic behavior of water tanks, *Bulletin of the seismological society of America*, 53 (2), 381-387.
- Hwang, J.-S., Huang, Y.-N., Yi, S.-L. and Ho, S.-Y., 2008, Design formulations for supplemental viscous dampers to building structures, *Journal of structural engineering*, 134, 22-31.
- IBC, 2006: *International building code*, International code council, Inc., ISBN-I0: 1-58001-251-5 (soft).
- Ikago, K., Saito, K. and Inoue, N., 2012, Seismic control of single-degree-of-freedom structure using tuned viscous mass damper, *Earthquake engineering and structural dynamics*, 41, 453-474.
- Jaiswal, O.R., Rai, D.C. and Jain, S.K., 2007a, *Review of code provisions on seismic analysis of liquid storage tanks*, Document no: IITK-GSDMA-EQ04-V1.0., Final report: A earthquake codes IITK-GSDMA project on building codes.
- Jaiswal, O.R., Rai, D.C. and Jain, S.K., 2007b, Review of seismic codes on liquid-containing tanks, *Earthquake spectra*, 23 (1), 239-260.
- Jensen, H.A. and Kusanovic, D.S., 2014, On the effect of near-field excitations on the reliability-based performance and design of base-isolated structures, *Probabilistic engineering mechanics*, 36, 28-44.
- Kalogerakou, M.E., Maniatakis, C.A., Spyrakos, C.C. and Psarropoulos, P.N., 2017, Seismic response of liquid-containing tanks with emphasis on the hydrodynamic response and near-fault phenomena, *Engineering structures*, 153, 383-403.
- Kelly, J.M., 1996, Earthquake protection through seismic isolation, *13th triennial world congress*, 30 June-5 July 1996, San Francisco, USA, IFAC, 5536-5540.
- Kelly, J.M., 1999, The role of damping in seismic isolation, *Earthquake engineering and structural dynamics*, 28, 3-20.
- Kelly, T.E., 2001a, *Base isolation of structures*, Holmes consulting group ltd, Wellington, New Zealand.
- Kelly, T.E., 2001b, *In-structure damping and energy dissipation*, Holmes consulting group ltd, Wellington, New Zealand.
- Kim, M.K., Lim, Y.M., Cho, S.Y., Cho, K.H. and Lee, K.W., 2002, Seismic analysis of base-isolated liquid storage tanks using the BE-FE-BE coupling technique, *Soil dynamics and earthquake engineering*, 22, 1151-1158.

- Kim, N.-S. and Lee, D.-G., 1995, Pseudodynamic test for evaluation of seismic performance of base-isolated liquid storage tanks, *Engineering structures*, 17 (3), 198-208.
- Komodromos, P., 2000, *Seismic isolation for earthquake-resistant structures*, WIT Press, Southampton, Boston, ISBN: 1-85312-803-1.
- Liao, W.-I. and Wang, S.-Q., 2016, Seismic responses of isolated buildings with supplemental devices subjected to near-fault earthquake, *ASME 2016 Pressure vessels and piping conference*, 17-21 July 2016 Vancouver, British Columbia, Canada, V005T09A023, 6 pages.
- Lu, L.-Y., Lin, C.-C. and Lin, G.-L., 2013, Experimental evaluation of supplemental viscous damping for a sliding isolation system under puls-like base excitation, *Journal of sound and vibration*, 332, 1982-1999.
- Maekawa, A., 2012, *Recent advances in seismic response analysis of cylindrical liquid storage tanks*, Earthquake-resistant structures - design, assessment and rehabilitation, In: Moustafa, A. (ed.), Chapter 12, InTech, University Campus Stepri Slavka Krautzeka, ISBN: 978-953-51-0123-9, 307-336.
- Makris, N., 1997, Rigidity-plasticity-viscosity: Can electrorheological dampers protect base-isolated structures from near-source ground motions?, *Earthquake engineering and structural dynamics*, 26, 571-591.
- Makris, N. and Chang, S.P., 2000, Effect of viscous, viscoplastic and friction damping on the response of seismic isolated structures, *Earthquake engineering and structural dynamics*, 29 (1), 85-107.
- Malhotra, P.K., 1997, New method for seismic isolation of liquid storage tanks, *Earthquake engineering and structural dynamics*, 26, 839-847.
- Malhotra, P.K., Wenk, T. and Wieland, M., 2000, Simple procedure for seismic analysis of liquid-storage tanks, *Structural engineering international*, 3, 197-201.
- Martelli, A., Clemente, P., De Stefano, A., Forni, M. and Salvatori, A., 2014, *Recent development and application of seismic isolation and energy dissipation and conditions for their correct use*, Perspectives on european earthquake engineering and seismology, In: Ansal, A. (ed.), Chapter 14, Springer Open, Geotechnical, geological and earthquake engineering, 449-488.
- Martinez-Rodrigo, M. and Romero, M.L., 2003, An optimum retrofit strategy for moment resisting frames with nonlinear viscous dampers for seismic applications, *Engineering structures*, 25, 913-925.
- MATLAB, 2019: *MATLAB-MathWorks*, The MathWorks Inc. 3 Apple Hill Drive Natick, Massachusettes, USA 01760.
- Mavroeidis, G.P. and Papageorgiou, A.S., 2003, A mathematical representation of near-fault ground motions, *Bulletin of the seismological society of America*, 93 (3), 1099-1131.

- Mavronicola, E. and Komodromos, P., 2014, On the response of base-isolated buildings using bilinear models for LRBs subjected to pulse-like ground motions: sharp vs. smooth behaviour, *Earthquakes and structures*, 7 (6), 1223-1240.
- Mazza, F., 2017, Lateral-torsional response of base-isolated buildings with curved surface sliding system subjected to near-fault earthquakes, *Mechanical systems and signal processing*, 92, 64-85.
- Mazza, F. and Labernarda, R., 2017, Structural and non-structural intensity measures for the assessment of base-isolated structures subjected to pulse-like near-fault earthquakes, *Soil dynamics and earthquake engineering*, 96, 115-127.
- Mazza, F. and Mazza, M., 2016, Nonlinear seismic analysis of irregular r.c. framed buildings base-isolated with friction pendulum system under near-fault excitations, *Soil dynamics and earthquake engineering*, 90, 299-312.
- Mazza, F. and Vulcano, A., 2009, Nonlinear response of rc framed buildings with isolation and supplemental damping at the base subjected to near-fault earthquakes, *Journal of earthquake engineering*, 13, 690-715.
- Mazza, F. and Vulcano, A., 2012, Effects of near-fault ground motions on the nonlinear dynamic response of base isolated r.c. framed buildings, *Earthquake engineering and structural dynamics*, 41, 211-232.
- Mazza, F., Mazza, M. and Vulcano, A., 2018, Base-isolation systems for the seismic retrofitting of r.c. framed buildings with soft-storey subjected to near-fault earthquakes, *Soil dynamics and earthquake engineering*, 109, 209-221.
- Menun, C. and Fu, Q., 2002, An analytical model for near-fault ground motions and the response of SDOF systems, in *Proc. 7th U.S. National conf. Earthquake engineering*, Boston, Massachusetts, 10 pp.
- Mollaioli, F., Lucchini, A., Cheng, Y. and Monti, G., 2013, Intensity measures for the seismic response prediction of base-isolated buildings, *Bull earthquake eng*, 11, 1841-1866.
- Naeim, F., Kelly, J.M., 1999, *Design of seismic isolated structures: from theory to practice*, John Wiley & Sons, New York, 978-0-471-14921-7.
- Nagarajaiah, S., Ferrell, K., 1999, Stability of elastomeric seismic isolation bearings, *Journal of structural engineering*, 125 (9), 946-954.
- Nagarajaiah, S., Li, C., Reinhorn, A.M. and Constantinou, M.C., 1993, 3D-BASIS-TABS: Computer program for nonlinear dynamic analysis of three dimensional base isolated structures, *Technical report NCEER-93-0011*, National center for earthquake engineering research, State University of New York at Buffalo.
- Nagarajaiah, S., Reinhorn, A.M. and Constantinou, M.C., 1991, *3D-BASIS nonlinear dynamic analysis of three-dimensional base isolated structures: part II*, Technical report NCEER-91-0005, National center for earthquake engineering research, State University of New York at Buffalo.

- Narkhede, D.I. and Sinha, R., 2014, Behavior of nonlinear fluid viscous dampers for control of shock vibrations, *Journal of sound and vibration*, 333, 80-98.
- Newmark, N.M. and Rosenblueth, E., 1971, *Fundamentals of earthquake engineering*, Prentice-Hall, Michigan University.
- Nielsen, R. and Kiremidjian, A.S., 1986, Damage to oil refineries from major earthquakes, *Journal of structural engineering*, 112, 1481-1491.
- NZS 1170.5, 2004: *Structural design actions Part 5: earthquake actions - New Zealand*, New Zealand Standard (NZS).
- NZSEE, 1986: *Seismic design of storage tanks*, Recommendations of a study group of the New Zealand national society for earthquake engineering, Priestley, M.J.N., Davidson, B.J., Honey, G.D., Hopkins, D.C., Martin, R.J., Ramsey, G., Vessey, J.V. and Wood, J.H. (eds), Wellington, New Zealand.
- Occhiuzzi, A., 2009, Additional viscous dampers for civil structures: Analysis of design methods based on effective evaluation of modal damping ratios, *Engineering structures*, 31, 1093-1101.
- Ormeño, M., Larkin, T. and Chouw, N., 2015, Evaluation of seismic ground motion scaling procedures for linear time-history analysis of liquid storage tanks, *Engineering structures*, 102, 266-277.
- Öncü-Davas, S., Gazi, H., Güler, E. and Alhan, C., 2018, *Comparison of ground motion pulse models for the seismic response of seismically isolated liquid storage tanks*, Earthquake engineering and structural dynamics in memory of Ragnar Sigbjörnsson, In: Rupakhety, R. and Ólafsson, S., (eds.), Chapter 7, Springer International Publishing AG, Geotechnical, Geological and Earthquake Engineering, 143-157.
- Öncü-Davas, S. ve Alhan, C., 2013, Sentetik deprem puls sönüm oranlarının sismik izolasyonlu binaların davranışına etkisi, 2. *Türkiye deprem mühendisliği ve sismoloji konferansı*, 25-27 Eylül 2013, Hatay, Türkiye.
- Öncü, S. and Alhan, C., 2012, Effectiveness of seismic isolation in protecting sensitive contents against near-fault earthquakes of various magnitudes, *10th international congress on advances in civil engineering*, 17-19 Ekim 2012, Ankara, Türkiye, CD-ROM.
- Panchal, V.R. and Jangid, R.S., 2008, Variable friction pendulum system for seismic isolation of liquid storage tanks, *Nuclear engineering and design*, 238, 1304-1315.
- Panchal, V.R. and Soni, D.P., 2014, Seismic behaviour of isolated fluid storage tanks: A-state-of-the-art review, *KSCE Journal of civil engineering*, 18 (4), 1097-1104.
- Paolacci, F., 2015, On the effectiveness of two isolation systems for the seismic protection of elevated tanks, *Journal of pressure vessel technology*, 137, 031801-1-031801-8.
- PEER, 2015: PEER ground motions database, *Pacific earthquake engineering research center*, Berkeley University, <https://ngawest2.berkeley.edu/> [Visit Date: 06 May 2015].

- Phan, H.N. and Paolacci, F., 2016, Efficient intensity measures for probabilistic seismic response analysis of anchored above-ground liquid steel storage tanks, *ASME 2016 Pressure vessels and piping conference*, 17-21 July 2016 Vancouver, British Columbia, Canada, V005T09A010, 10 pages.
- Providakis, C.P., 2008, Effect of LRB isolators and supplemental viscous dampers on seismic isolated buildings under near-fault excitations, *Engineering structures*, 30, 1187-1198.
- Providakis, C.P., 2009, Effect of supplemental damping on LRB and FPS seismic isolators under near-fault ground motions, *Soil dynamics and earthquake engineering*, 29, 80-90.
- Rai, D.C., 1999, Supplemental damping for seismic strengthening: a case study, *Engineering structures*, 21, 603-614.
- Reinhorn, A.M., Constantinou, M.C. and Li, C., 1995, Use of supplemental damping devices for seismic strengthening of lightly reinforced concrete frames, *Proceedings, Workshop on the Seismic Rehabilitation of Lightly Reinforced Concrete Frames*, 12–13 June 1995, Gaithersburg, MD.
- Reinhorn, A.M., Nagarajaiah, S., Constantinou, M.C., Tsopelas, P. and Li, R., 1994, *3D-BASIS-TABS: Version 2.0 computer program for nonlinear dynamic analysis of three dimensional base isolated structures*, Technical report NCEER-94-0018, National center for earthquake engineering research, State University of New York at Buffalo.
- Ribakov, Y., 2010, Reduction of structural response to near fault earthquakes by seismic isolation columns and variable friction dampers, *Earthquake engineering and engineering vibration*, 9, 113-122.
- Rotter, J.M., 2006, Elephant's foot buckling in pressurised cylindrical shells, *Stahlbau 2006*, 75, 742-7 Helf 9.
- Saha, S.K., Matsagar, V.A. and Jain, A.K., 2012, Response of base-isolated liquid storage tanks under near-fault earthquakes, *Indian society of earthquake technology golden jubilee symposium*, 20-21 October 2012, Roorkee, India, D011.
- Saha, S.K., Matsagar, V. and Chakraborty, S., 2016, Uncertainty quantification and seismic fragility of base-isolated liquid storage tanks using response surface models, *Probabilistic engineering mechanics*, 43, 20-35.
- Said, A.I. and AbdulMajeed, A.A., 2011, Seismic analysis of liquid storage tanks, *Journal of engineering*, 3, 610-619.
- Saifullah, M.K. and Alhan, C., 2017, Necessity and adequacy of near-source factors for seismically isolated buildings, *Earthquakes and structures*, 12, 91-108.
- SAP2000, 2019: Structural analysis program: Static and dynamic finite element analysis of structures, *Computers and structures inc. (CSI)*, USA, 2019.
- Sezen, H. and Whittaker, A.S., 2006, Seismic performance of industrial facilities affected by the 1999 Turkey earthquake, *Journal of performance of constructed facilities*, 20, 28-36.

- Shekari, M.R., Khaji, N. and Ahmadi, M.T., 2010, On the seismic behavior of cylindrical base-isolated liquid storage tanks excited by long-period ground motions, *Soil dynamics and earthquake engineering*, 30, 968-980.
- Shrimali, M.K. and Jangid, R.S., 2002, Non-linear seismic response of base-isolated liquid storage tanks to bi-directional excitation, *Nuclear engineering and design*, 217, 1-20.
- Shrimali, M.K. and Jangid, R.S., 2004, Seismic analysis of base-isolated liquid storage tanks, *Journal of sound and vibration*, 275, 59-75.
- Somerville, P.G., 1998, Development of an improved representation of near-fault ground motions, *SMIP98 Proceedings, Seminar on Utilization of Strong-Motion Data*, Oakland, CA, September 15, California Division of Mines and Geology, Sacramento, CA, 1-20.
- Somerville, P.G. and Graves, R.W., 2003, Characterization of earthquake strong ground motion, *Pure and applied geophysics*, 160, 1811-1828.
- Soong, T.T. and Spencer Jr, B.F., 2002, Supplemental energy dissipation: state-of-the-art and state-of-the-practice, *Engineering structures*, 24, 243-259.
- Spyrakos, C.C., Koutromanos, I.A. and Maniatakis, Ch.A., 2009, Seismic response of base-isolated buildings including soil-structure interaction, *Soil dynamics and earthquake engineering*, 29, 658-668.
- Tajammolian, H., Khoshnoudian, F., Talaei, S. and Loghman, V., 2014, The effects of peak ground velocity of near-field ground motions on the seismic responses of base-isolated structures mounted on friction bearings, *Earthquakes and structures*, 7 (6), 1259-1281.
- Tedesco, J.W. and Kostem, C.N., 1982, *Vibrational characteristics and seismic analysis of cylindrical liquid storage tanks*, Fritz engineering laboratory report no: 433.5, Lehigh University, Bethlehem, Pennsylvania.
- Tsopelas, P.C., Constantinou, M.C. and Reinhorn, A.M., 1994, *3D-BASIS-ME: Computer program for nonlinear dynamic analysis of seismically isolated single and multiple structures and liquid storage tanks*, Technical report NCEER-94-0010, National center for earthquake engineering research, State University of New York at Buffalo.
- Tsopelas, P.C., Nagarajaiah, S., Constantinou, M.C. and Reinhorn, A.M., 1991, *3D-BASIS-M: Nonlinear dynamic analysis of multiple building base isolated structures*, Technical report NCEER-91-0014, National center for earthquake engineering research, State University of New York at Buffalo.
- Tsopelas, P.C., Roussis, P.C., Constantinou, M.C., Buchanan, R. and Reinhorn, A.M., 2005, *3D-BASIS-ME-MB: Computer program for nonlinear dynamic analysis of seismically isolated structures*, Technical report MCEER-05-0009, Multidisciplinary center for earthquake engineering research, State University of New York at Buffalo.
- Tubaldi, E., Ragni, L. and Dall'Asta, A., 2015, Probabilistic seismic response assessment of linear systems equipped with nonlinear viscous dampers, *Earthquake engineering and structural dynamics*, 44, 101-120.

- UBC, 1997: *Uniform building code*, International conference of building officials, Volume:2, Whittier, C.A.
- Waghmare, P.B., Pajgade, P.S. and Kanhe, N.M., 2013, Seismic response of isolated liquid storage tanks with elastomeric bearings, *International journal of application or innovation engineering and management*, 2 (2), 82-87.
- Wang, G.-Q., Zhou, X.-Y., Zhang, P.-Z. and Igel, H., 2002, Characteristics of amplitude and duration for near fault strong ground motion from the 1999 Chi-Chi, Taiwan earthquake, *Soil dynamics and earthquake engineering*, 22 (1), 73-96.
- Wang, Y.-P., Teng, M.-C. and Chung, K.-W., 2001, Seismic isolation of rigid cylindrical tanks using friction pendulum bearings, *Earthquake engineering and structural dynamics*, 30, 1083-1099.
- Warn, G.P. and Ryan, K.L., 2012, A review of seismic isolation for buildings: historical development and research needs, *Buildings*, 2, 300-325.
- Wen, Y.K., 1976, Method for random vibration of hysteretic systems, *J. eng. mech. div.*, 102, 246-263.
- Wolff, E.D., Ipek, C., Constantinou, M.C. and Tapan, M., 2015, Effect of viscous damping devices on the response of seismically isolated structures, *Earthquake engineering and structural dynamics*, 44, 185-198.
- Wozniak, R.S. and Mitchell, W.W., 1978, Basis of seismic design provisions for welded steel oil storage tanks, *American Petroleum Institute 43rd midyear meeting, session on Advances in Storage Tank Design*, Toronto, Canada.
- Veletsos, A.S., 1984, Seismic response and design of liquid storage tanks, *Guidelines for seismic design of oil and gas pipelines system ASCE*, New York, 255-370.
- Veletsos, A.S. and Yang, J.Y., 1977, Earthquake response of liquid storage tanks, *In advances in civil engineering through engineering mechanics*, Proc. ASCE/EMD speciality conf. Raleigh, NC, 1-24.
- Yamamoto, M., Minewaki, S., Nakahara, M. and Tsuyuki, Y., 2016, Concept and performance testing of a high-capacity oil damper comprising multiple damper units, *Earthquake engineering and structural dynamics*, 45, 1919-1933.
- Yazici, G., Aksel, M. and Koroglu, A., 2014, Sloshing displacements of an above ground cylindrical liquid storage tank subjected to a near-fault earthquake ground motion, *11th International conference on hydrosience and engineering*, 28 September-2 October 2014 Hamburg, Germany, Lehfeldt and kopmann (eds), 313-318.
- Zelleke, D.H., Elias, S., Matsagar, V.A. and Jain, A.K., 2015, Supplemental dampers in base-isolated buildings to mitigate large isolator displacement under earthquake excitation, *Bulletin of the New Zealand society for earthquake engineering*, 48 (2), 100-117.

Zhang, R., 2000, *Seismic isolation and supplemental energy dissipation*, Bridge engineering handbook, In: Chen, W.-F. and Duan, L. (eds.), Chapter 41, CRC Press LLC, Boca Raton.



EKLER

EK 1. Örnek bir ilave viskoz sönümleyici kullanılmayan taban izolasyonlu sıvı depolama tankı modeli için 3D-BASIS-ME programına veri girişi.

H/R=0.50 h/R=0.001 T0=2s Q/W=%5 (52 İzolatör)

Kullanılan Birimler: in Kips/in*sec² secs

1 2 5 5 386.0886

1 3

1 3

0.005 50 1 500 1

0.5 0.25

1 0.005 3001 0 386.0886

26.089

26.089

1

0.0

0.0

36.426

1

0.005 0.005 0.005

0.0

0.0

209.712 18.00

26983.977

26983.977

1

0.0

0.0

16.874

1

0.02 0.02 0.02

0.0

0.0

159.396 18.00

0 0 0 0

10.465

1

0 0 0 0

-820.56 0.00

0.00 -820.56

820.56 0.00

0.00 820.56

0.00 0.00

3 3

0.232 0.232 85.870 85.870 0.59 0.59

3 3

0.232 0.232 85.870 85.870 0.59 0.59
 3 3
 0.232 0.232 85.870 85.870 0.59 0.59
 3 3
 0.232 0.232 85.870 85.870 0.59 0.59
 3 3
 0.232 0.232 343.480 343.480 0.59 0.59
 1 10 1
 1 2 3 4 5
 1
 -820.56 0.00
 1
 0.00 0.00

EK 2. Örnek bir ilave viskoz sönümleyici kullanılan taban izolasyonlu sıvı depolama tankı modeli için 3D-BASIS-ME programına veri girişi.

H/R=0.50 h/R=0.001 T0=2s Q/W=%5 + ZETA=%10 (52 İzolatör + 24 Sönümleyici)

Kullanılan Birimler: in Kips/in*sec^2 secs

1 2 9 9 386.0886

1 3

1 3

0.0005 50 1 500 1

0.5 0.25

1 0.005 3001 0 386.0886

26.089

26.089

1

0.0

0.0

36.426

1

0.005 0.005 0.005

0.0

0.0

209.712 18.00

26983.977

26983.977

1

0.0

0.0

16.874

1

0.02 0.02 0.02

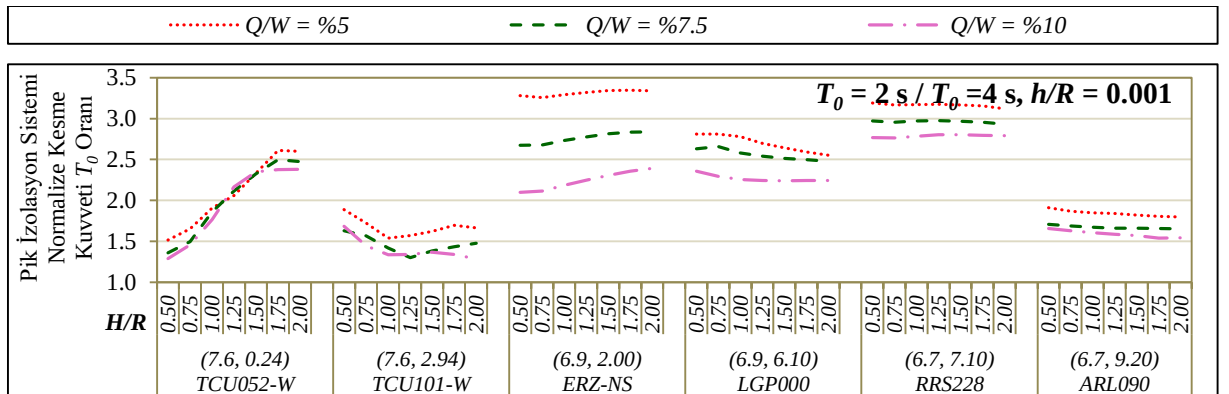
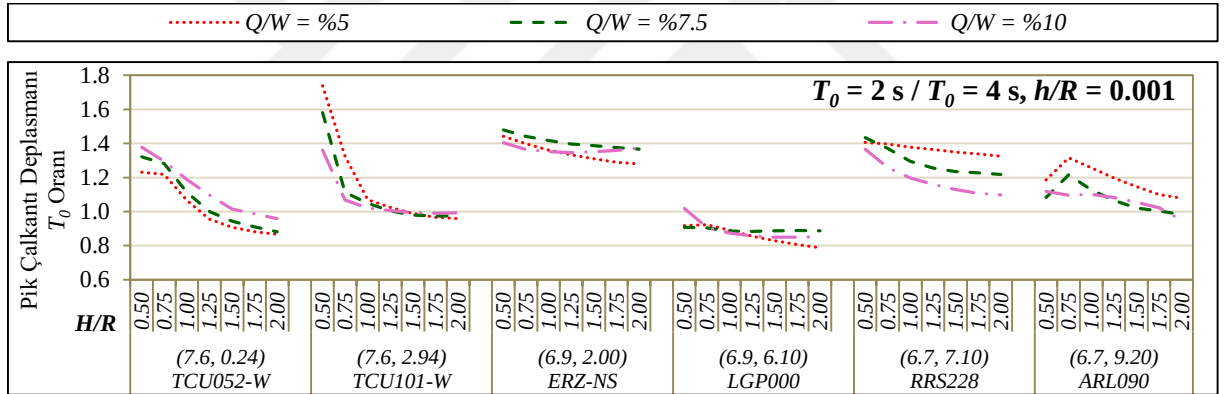
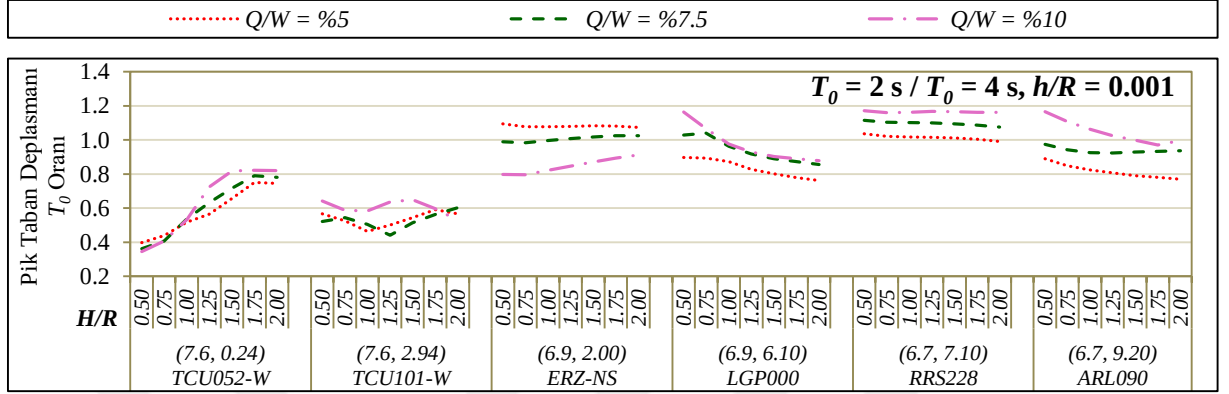
0.0

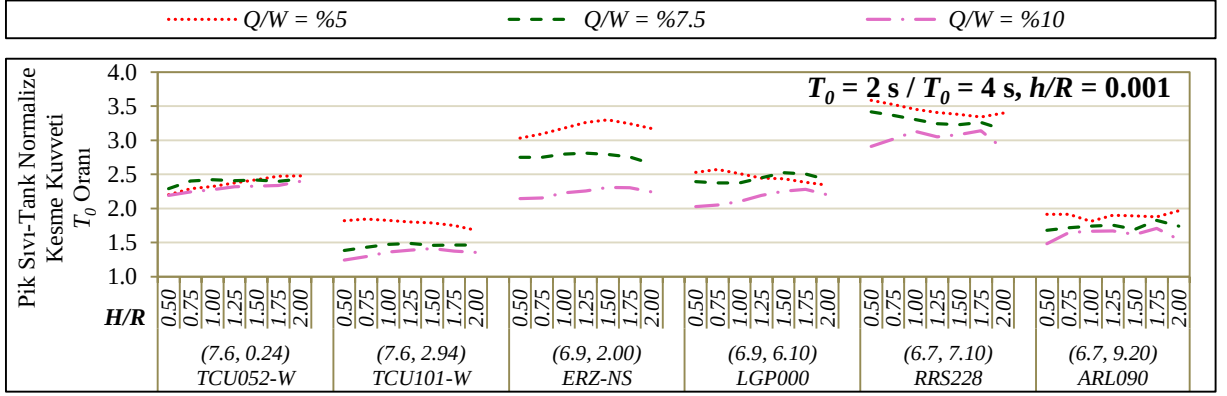
0.0

159.396 18.00

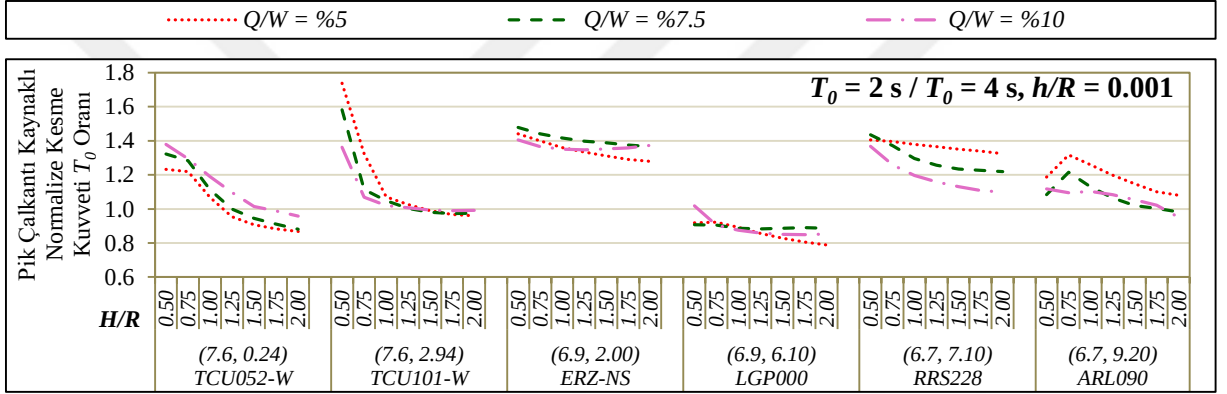
0 0 0 0 0
10.465
1
0 0 0 0 0
-820.56 0.00
0.00 -820.56
820.56 0.00
0.00 820.56
0.00 0.00
-495.48 0.00
0.00 -495.48
495.48 0.00
0.00 495.48
3 3
0.232 0.232 85.870 85.870 0.59 0.59
3 3
0.232 0.232 85.870 85.870 0.59 0.59
3 3
0.232 0.232 85.870 85.870 0.59 0.59
3 3
0.232 0.232 85.870 85.870 0.59 0.59
3 3
0.232 0.232 343.480 343.480 0.59 0.59
3 2
4.294 4.294 1.00
3 2
4.294 4.294 1.00
3 2
4.294 4.294 1.00
3 2
4.294 4.294 1.00
1 10 1
1 2 3 4 5 6 7 8 9
1
-820.56 0.00
1
0.00 0.00

EK 3. İlave viskoz sönümleyici kullanılmayan taban izolasyonlu sıvı depolama tanklarının tarihi yakın fay deprem kayıtları altında elde edilen sismik analiz sonuçları.

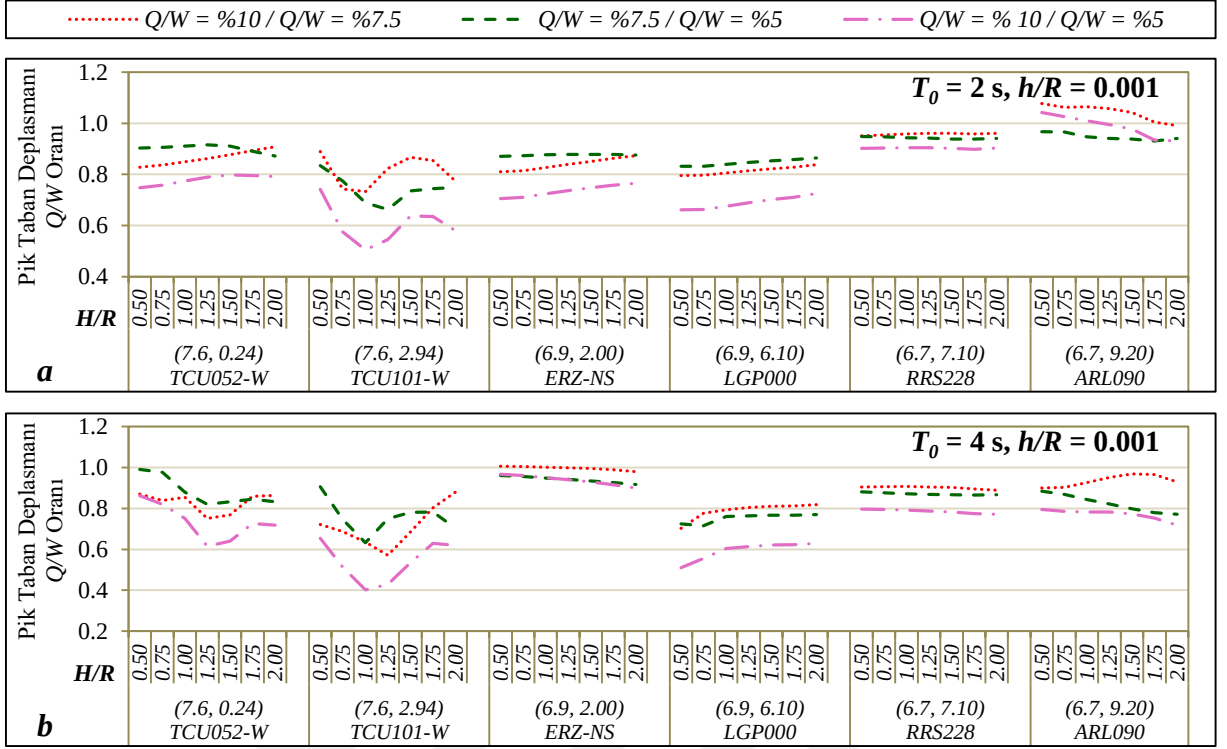




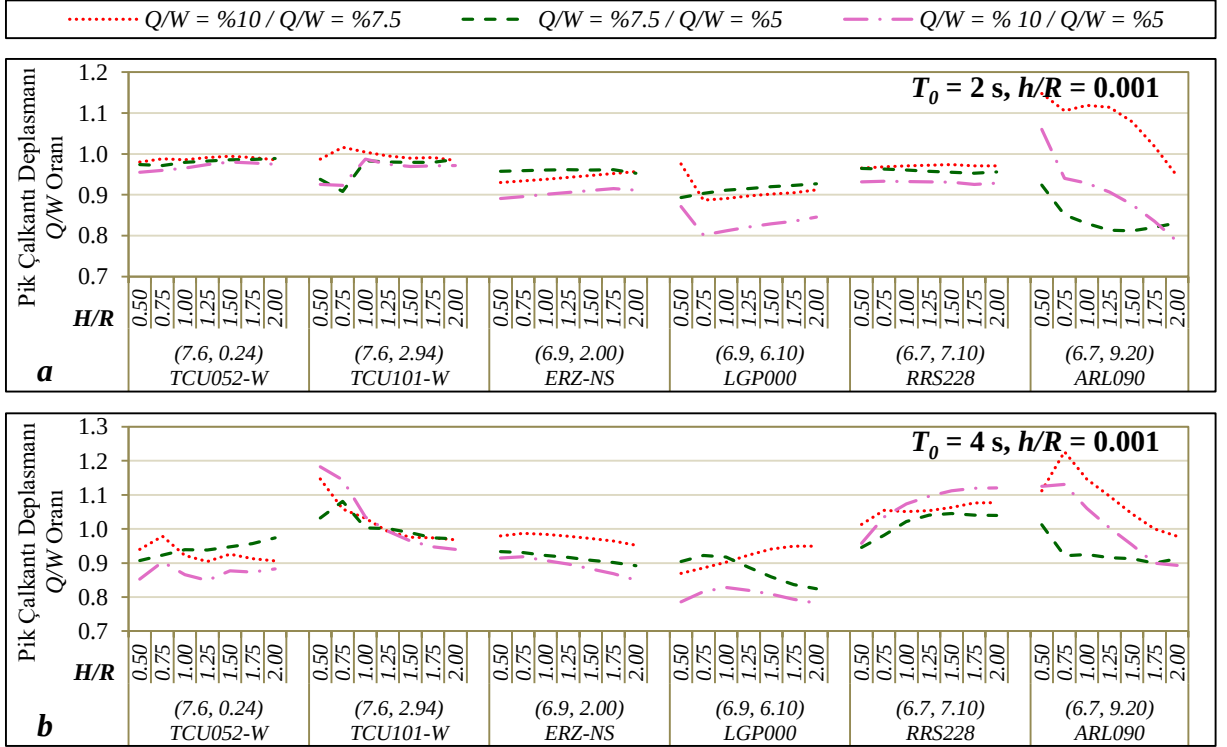
Şekil Ek 3.4: $h/R = 0.001$ durumunda $T_0 = 2$ s izolasyon periyodu için elde edilen pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtlarının $T_0 = 4$ s izolasyon periyodu için elde edilenlere oranı.



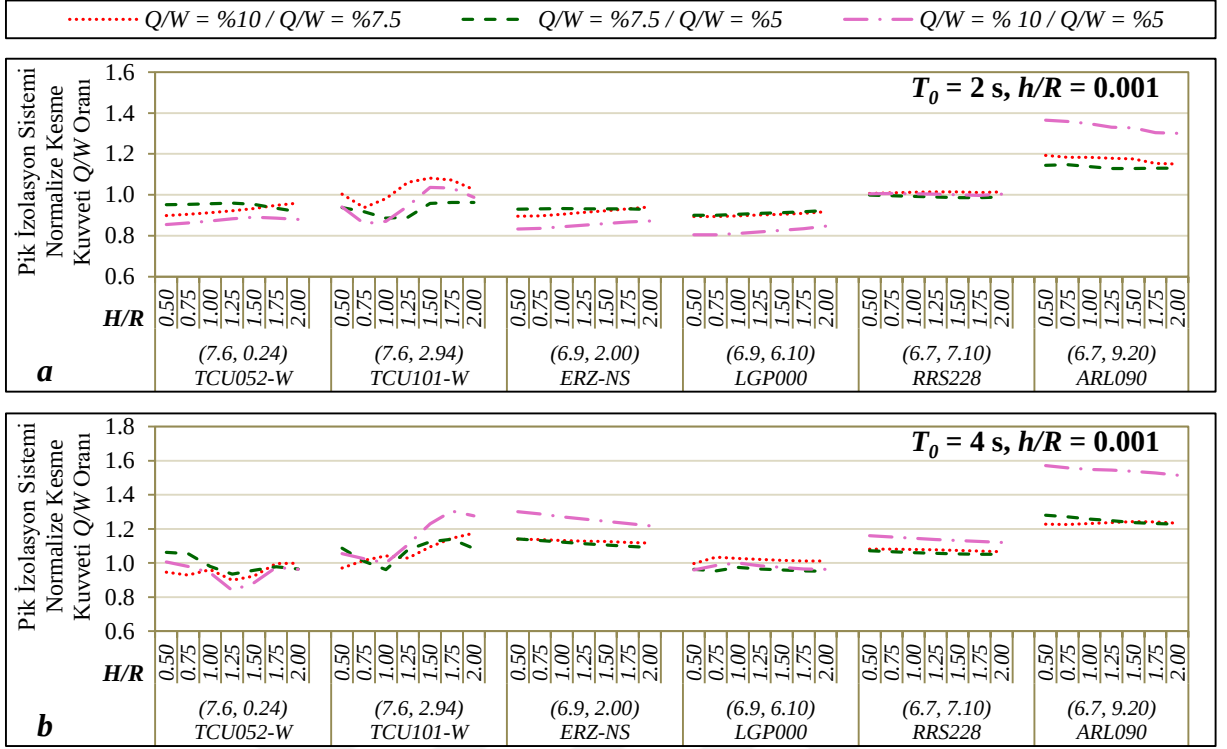
Şekil Ek 3.5: $h/R = 0.001$ durumunda $T_0 = 2$ s izolasyon periyodu için elde edilen pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtlarının $T_0 = 4$ s izolasyon periyodu için elde edilenlere oranı.



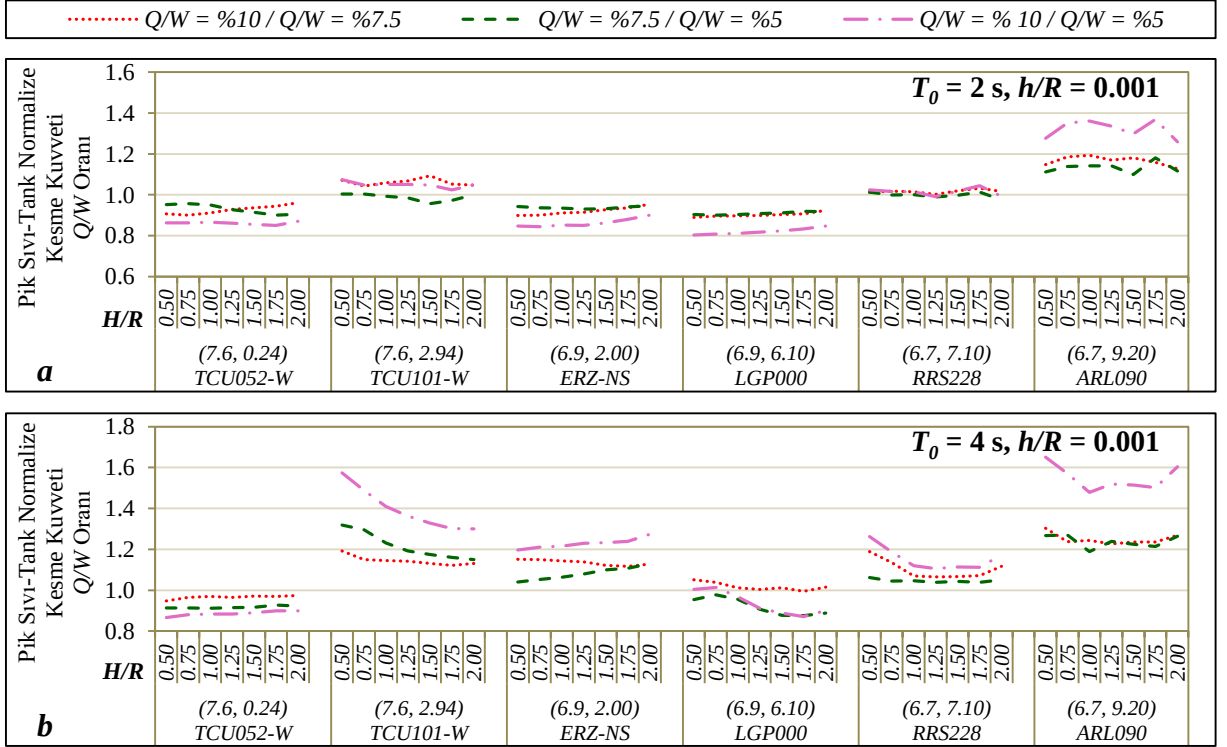
Şekil Ek 3.6: Farklı Q/W oranları için elde edilen pik taban deplasmanı yanıtlarının birbirlerine göre oranları.



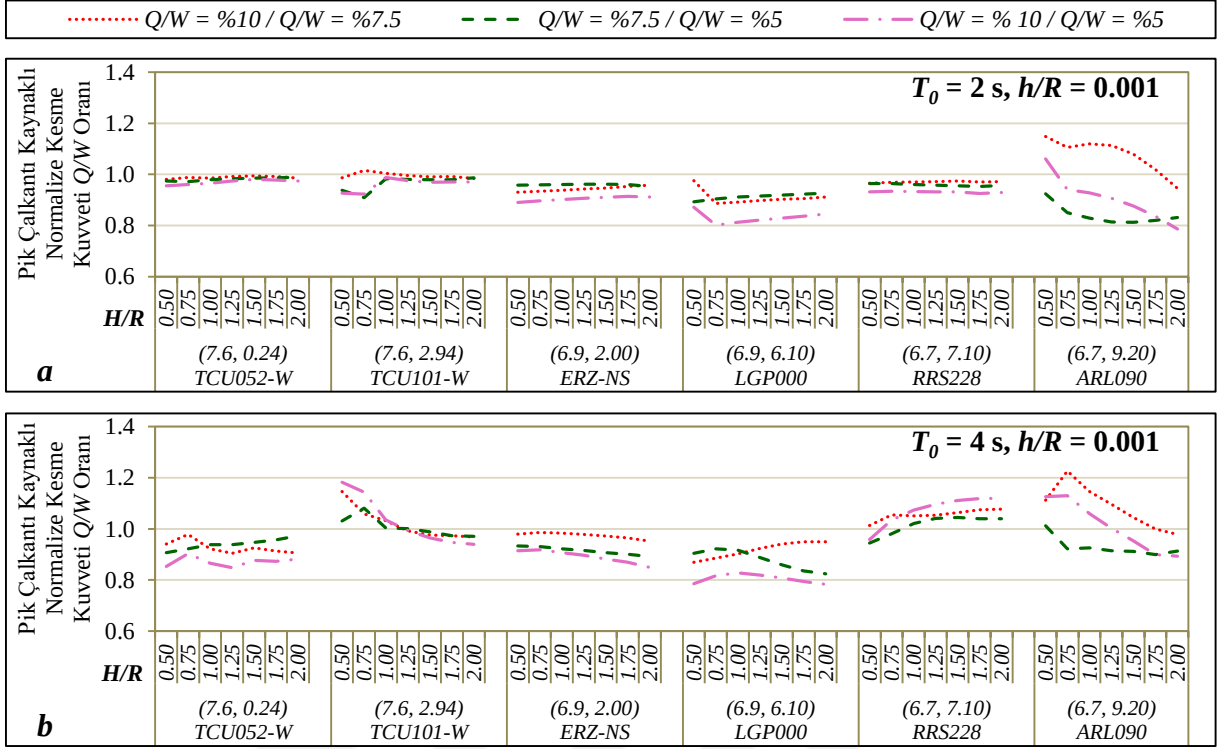
Şekil Ek 3.7: Farklı Q/W oranları için elde edilen pik çalkantı deplasmanı yanıtlarının birbirlerine göre oranları.



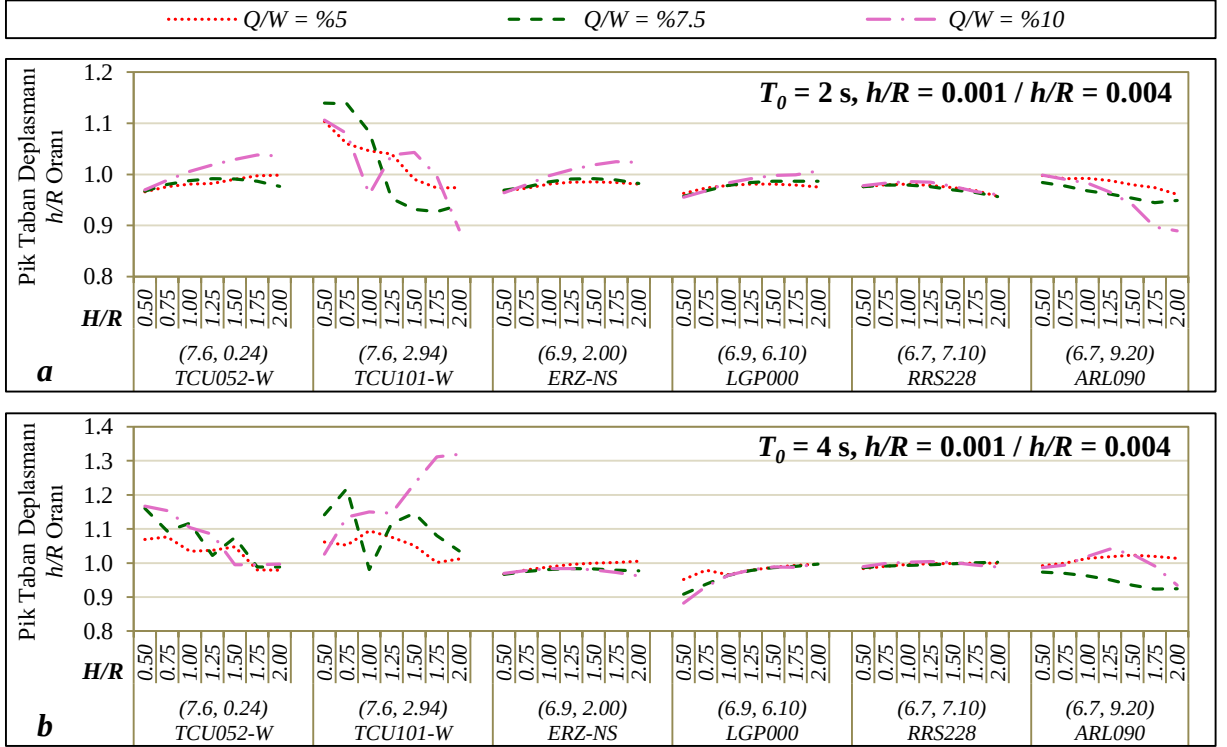
Şekil Ek 3.8: Farklı Q/W oranları için elde edilen pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti yanıtlarının birbirlerine göre oranları.



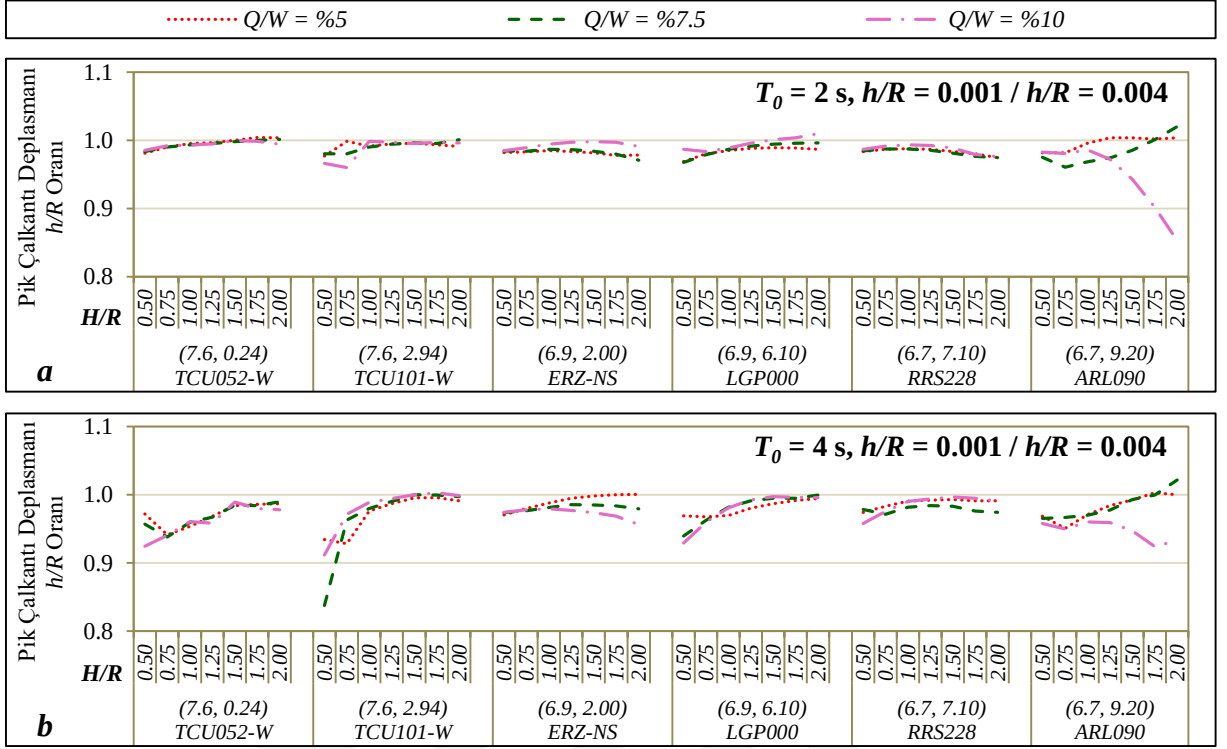
Şekil Ek 3.9: Farklı Q/W oranları için elde edilen pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtlarının birbirlerine göre oranları.



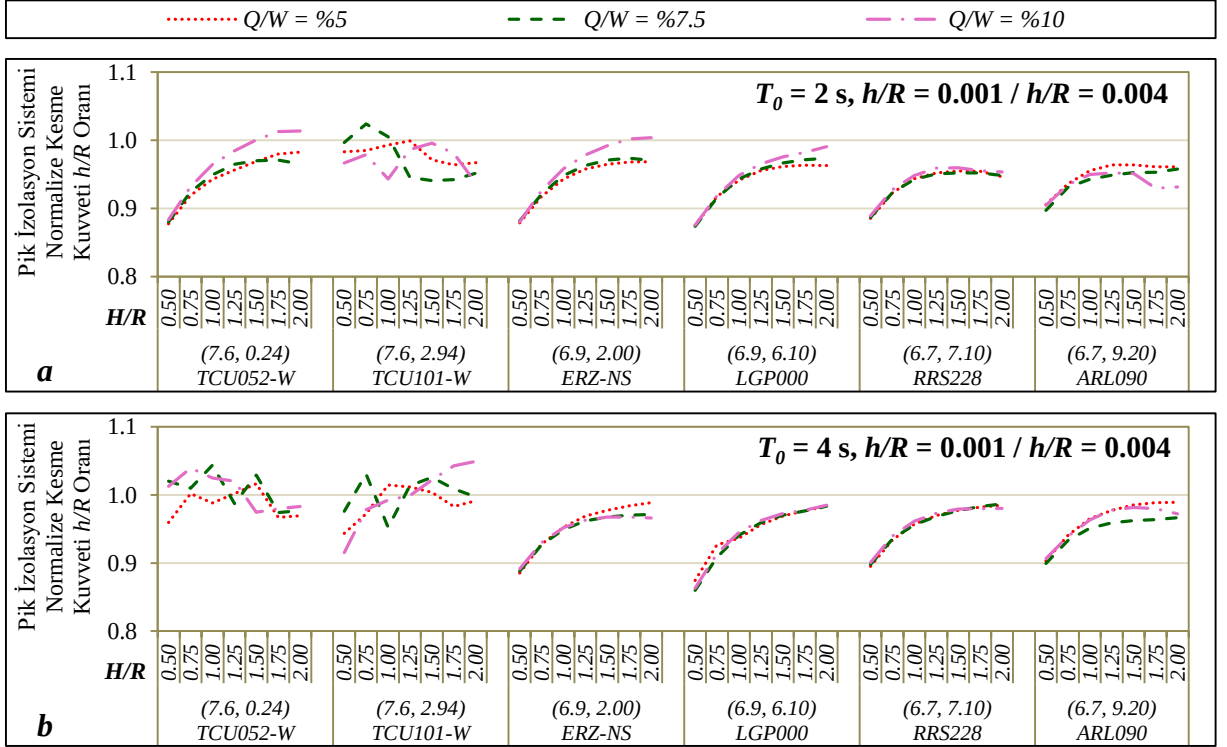
Şekil Ek 3.10: Farklı Q/W oranları için elde edilen pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtlarının birbirlerine göre oranları.



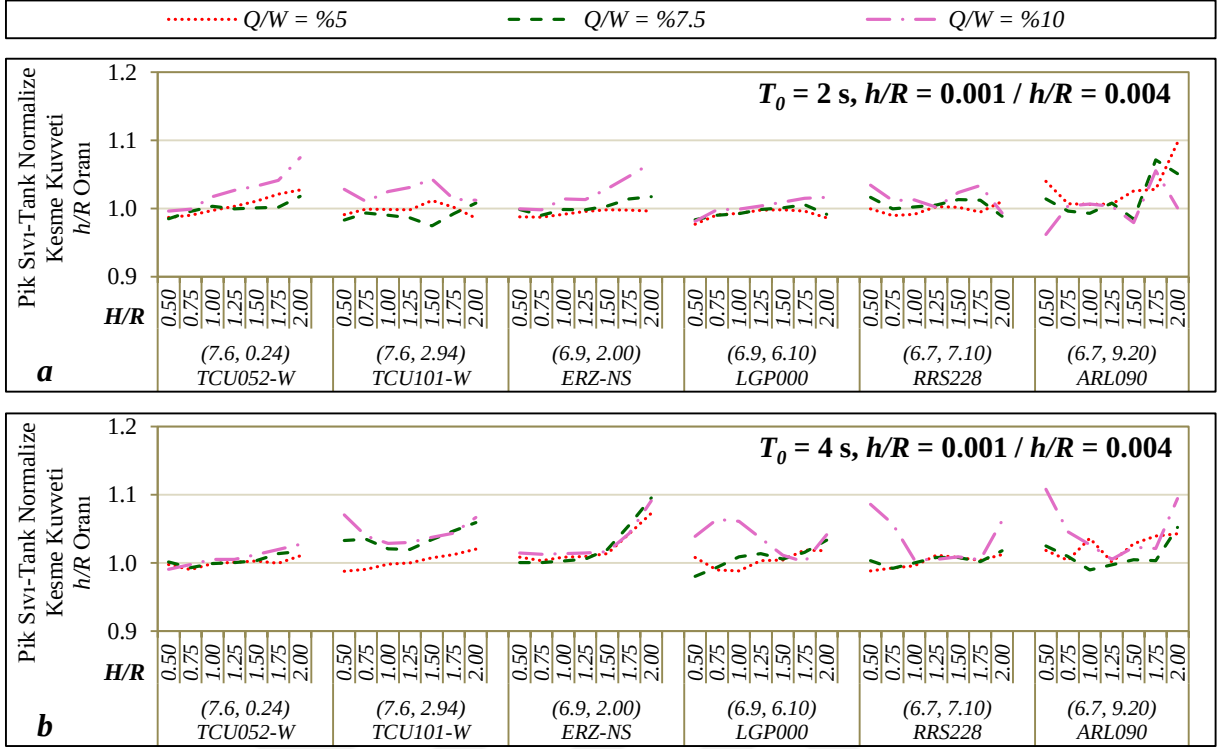
Şekil Ek 3.11: $h/R = 0.001$ tank esnekliği için elde edilen pik taban deplasmanı yanıtlarının $h/R = 0.004$ tank esnekliği için elde edilenlere oranı.



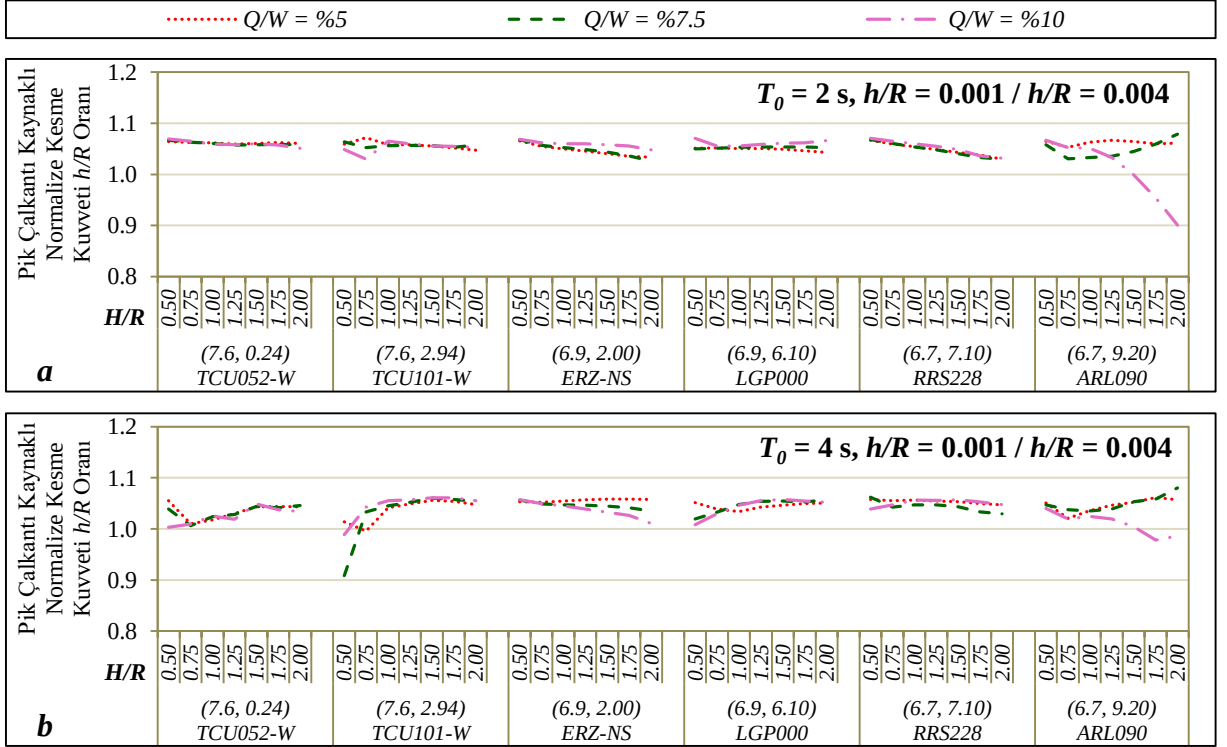
Şekil Ek 3.12: $h/R = 0.001$ tank esnekliği için elde edilen pik çalkantı deplasmanı yanıtlarının $h/R = 0.004$ tank esnekliği için elde edilenlere oranı.



Şekil Ek 3.13: $h/R = 0.001$ tank esnekliği için elde edilen pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti yanıtlarının $h/R = 0.004$ tank esnekliği için elde edilenlere oranı.

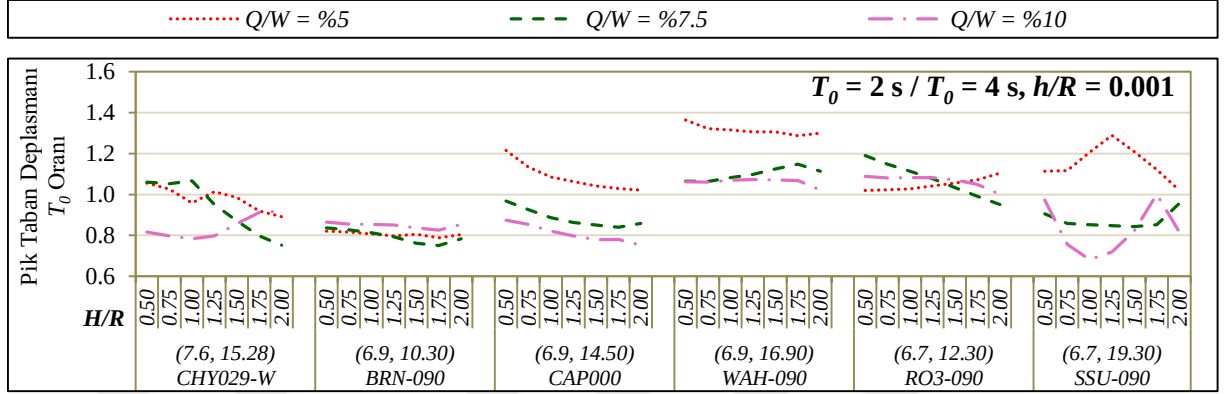


Şekil Ek 3.14: $h/R = 0.001$ tank esnekliği için elde edilen pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtlarının $h/R = 0.004$ tank esnekliği için elde edilenlere oranı.

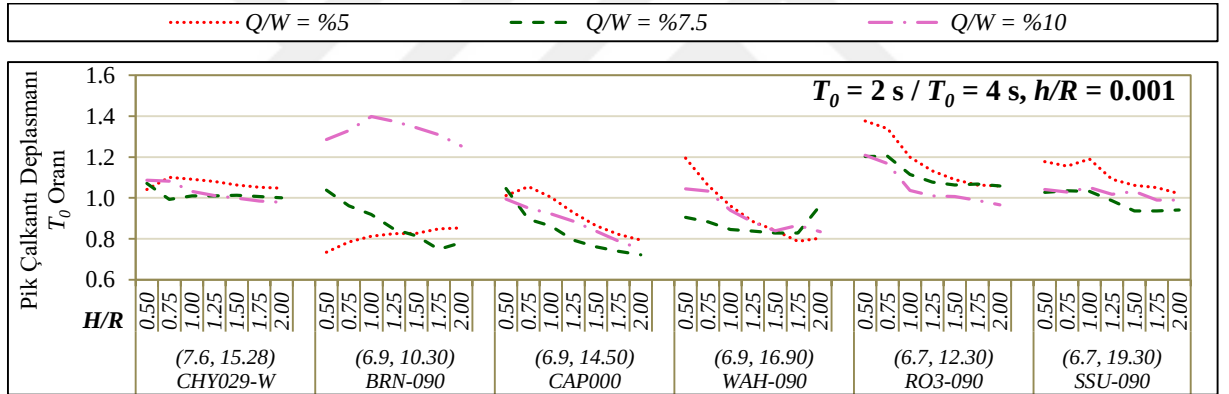


Şekil Ek 3.15: $h/R = 0.001$ tank esnekliği için elde edilen pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtlarının $h/R = 0.004$ tank esnekliği için elde edilenlere oranı.

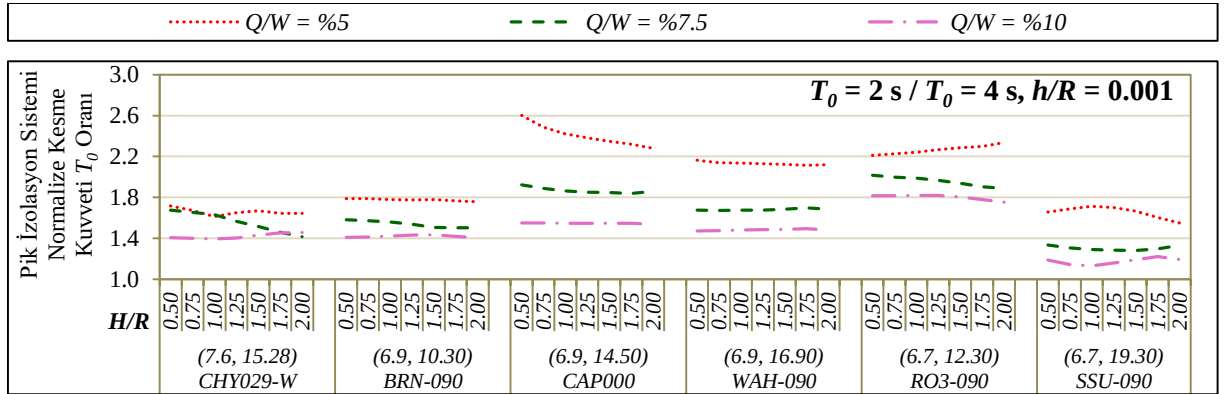
EK 4. İlave viskoz sönümleyici kullanılmayan taban izolasyonlu sıvı depolama tanklarının tarihi uzak fay deprem kayıtları altında elde edilen sismik analiz sonuçları.



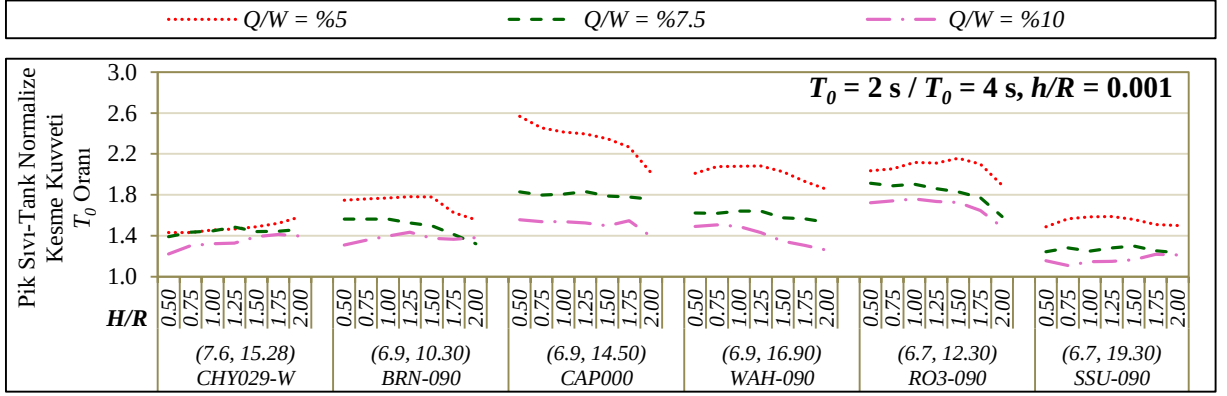
Şekil Ek 4.1: $h/R = 0.001$ durumunda $T_0 = 2$ s izolasyon periyodu için elde edilen pik taban deplasmanı yanıtlarının $T_0 = 4$ s izolasyon periyodu için elde edilenlere oranı.



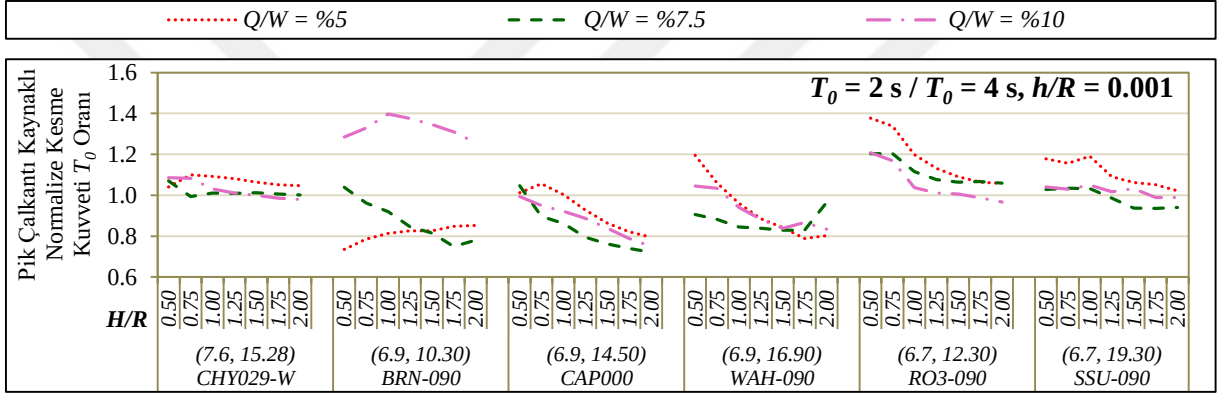
Şekil Ek 4.2: $h/R = 0.001$ durumunda $T_0 = 2$ s izolasyon periyodu için elde edilen pik çalkantı deplasmanı yanıtlarının $T_0 = 4$ s izolasyon periyodu için elde edilenlere oranı.



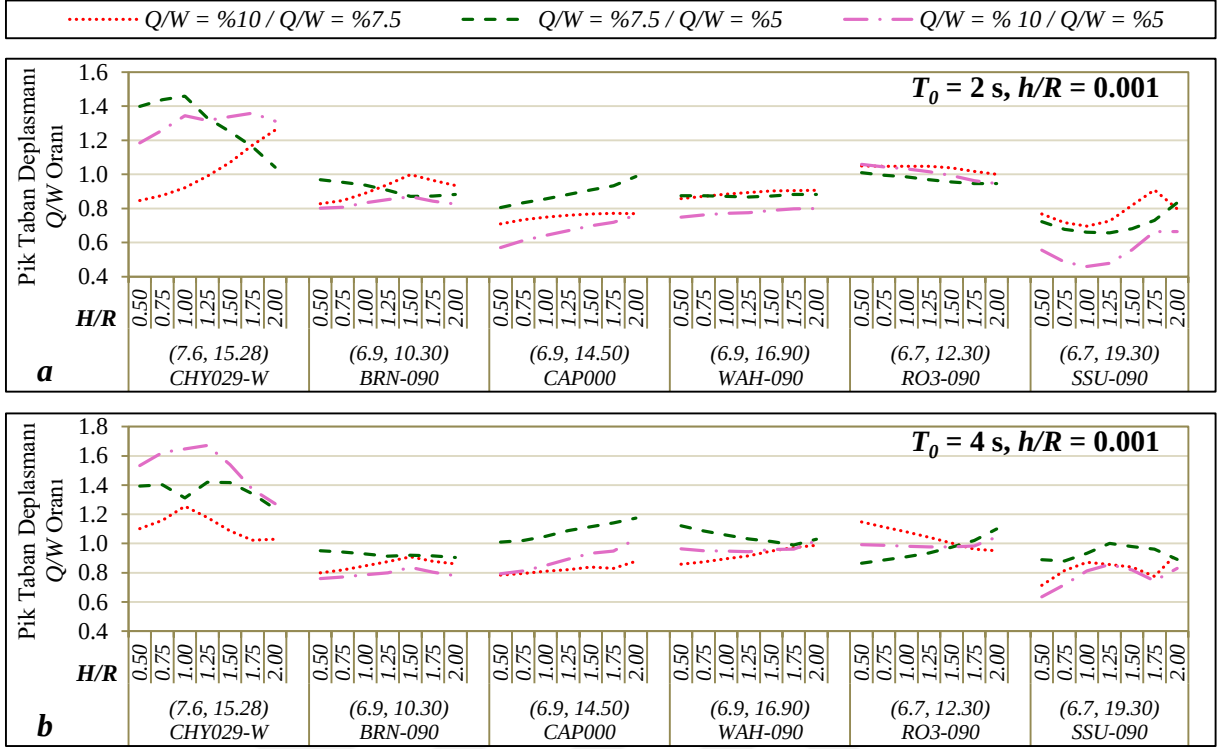
Şekil Ek 4.3: $h/R = 0.001$ durumunda $T_0 = 2$ s izolasyon periyodu için elde edilen pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti yanıtlarının $T_0 = 4$ s izolasyon periyodu için elde edilenlere oranı.



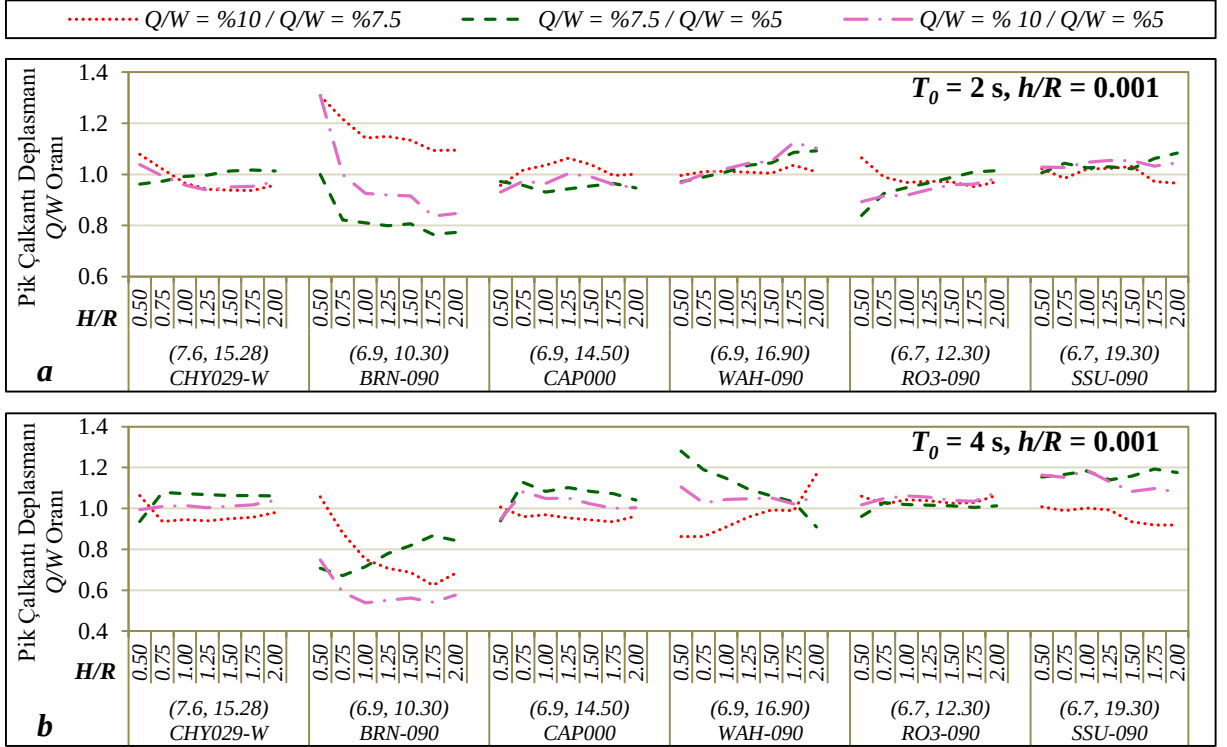
Şekil Ek 4.4: $h/R = 0.001$ durumunda $T_0 = 2$ s izolasyon periyodu için elde edilen pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtlarının $T_0 = 4$ s izolasyon periyodu için elde edilenlere oranı.



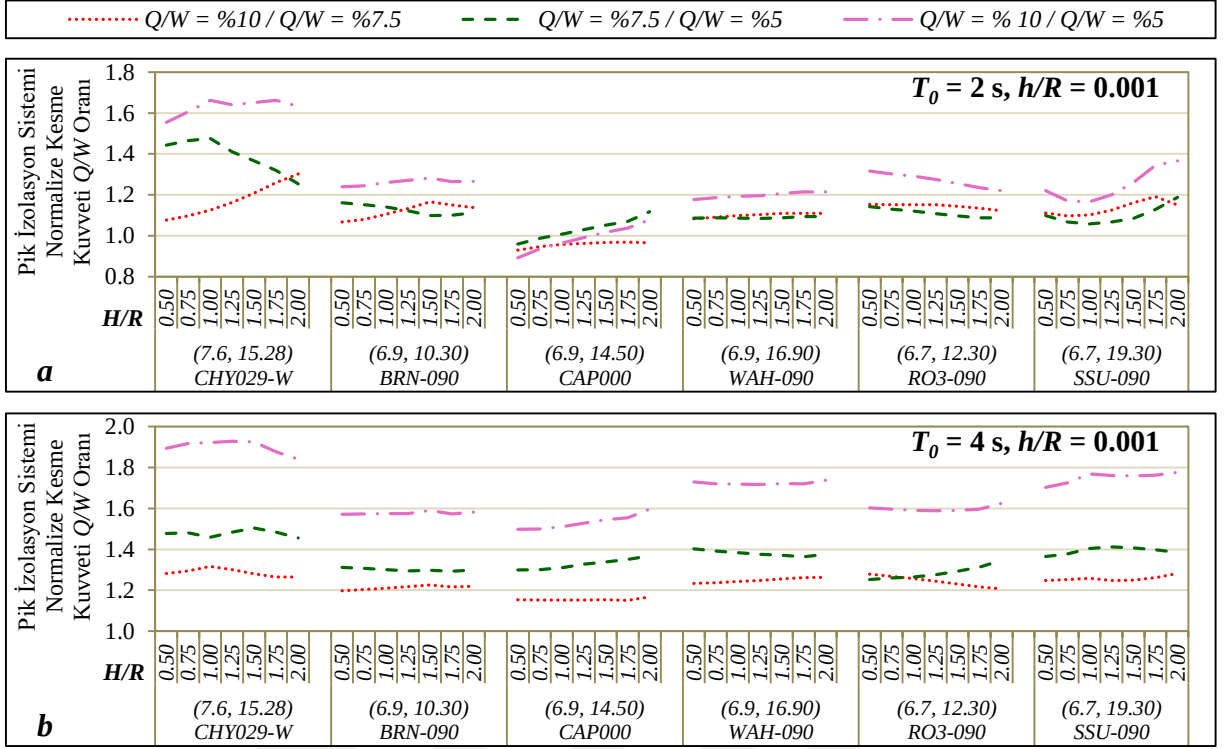
Şekil Ek 4.5: $h/R = 0.001$ durumunda $T_0 = 2$ s izolasyon periyodu için elde edilen pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtlarının $T_0 = 4$ s izolasyon periyodu için elde edilenlere oranı.



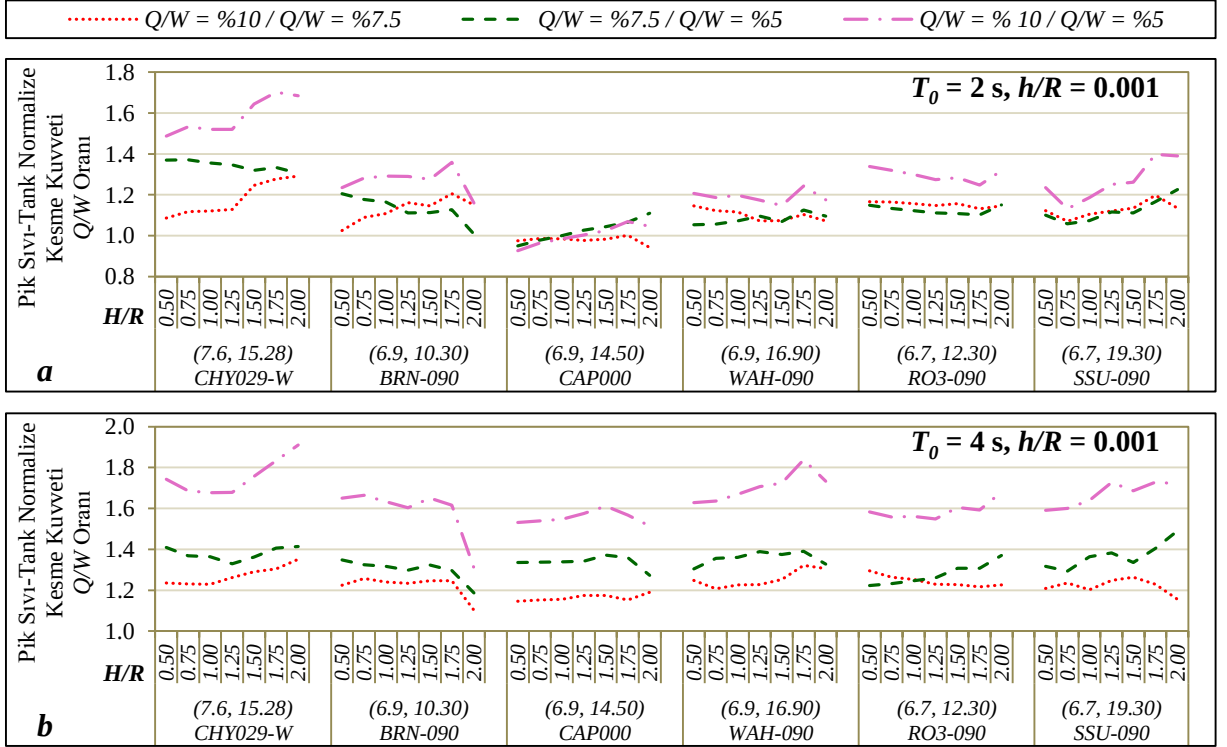
Şekil Ek 4.6: Farklı Q/W oranları için elde edilen pik taban deplasmanı yanıtlarının birbirlerine göre oranları.



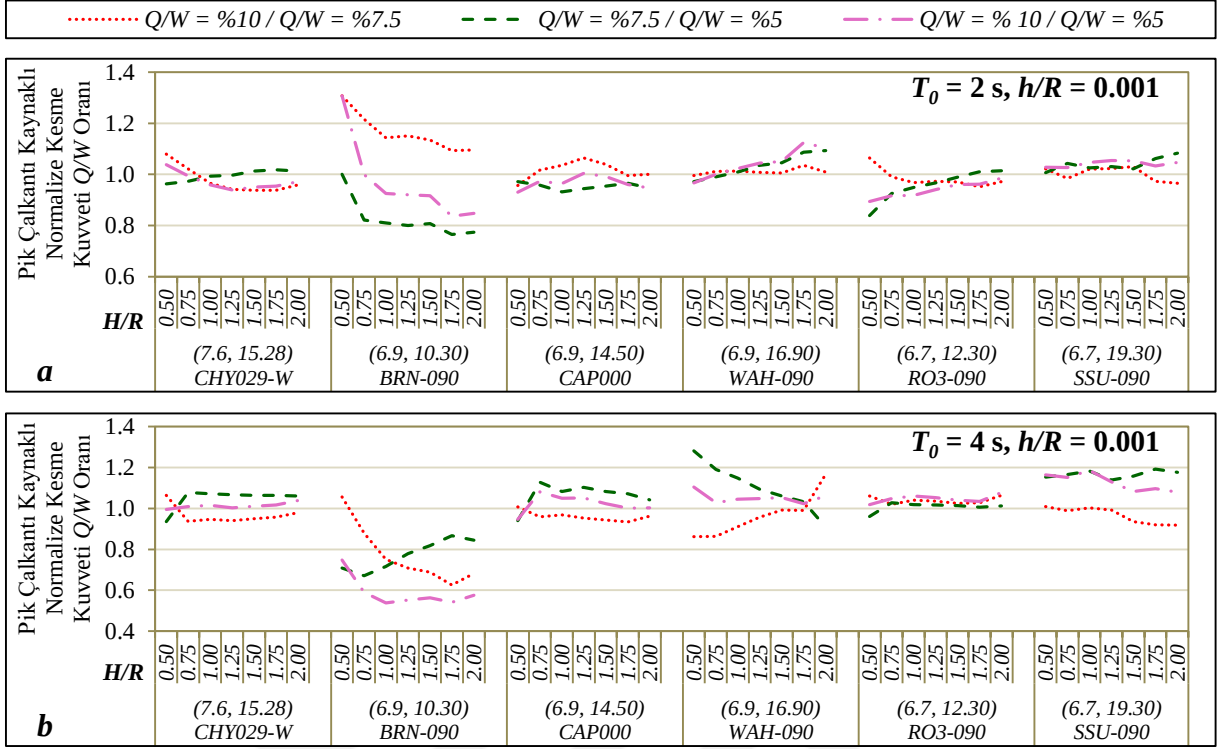
Şekil Ek 4.7: Farklı Q/W oranları için elde edilen pik çalkantı deplasmanı yanıtlarının birbirlerine göre oranları.



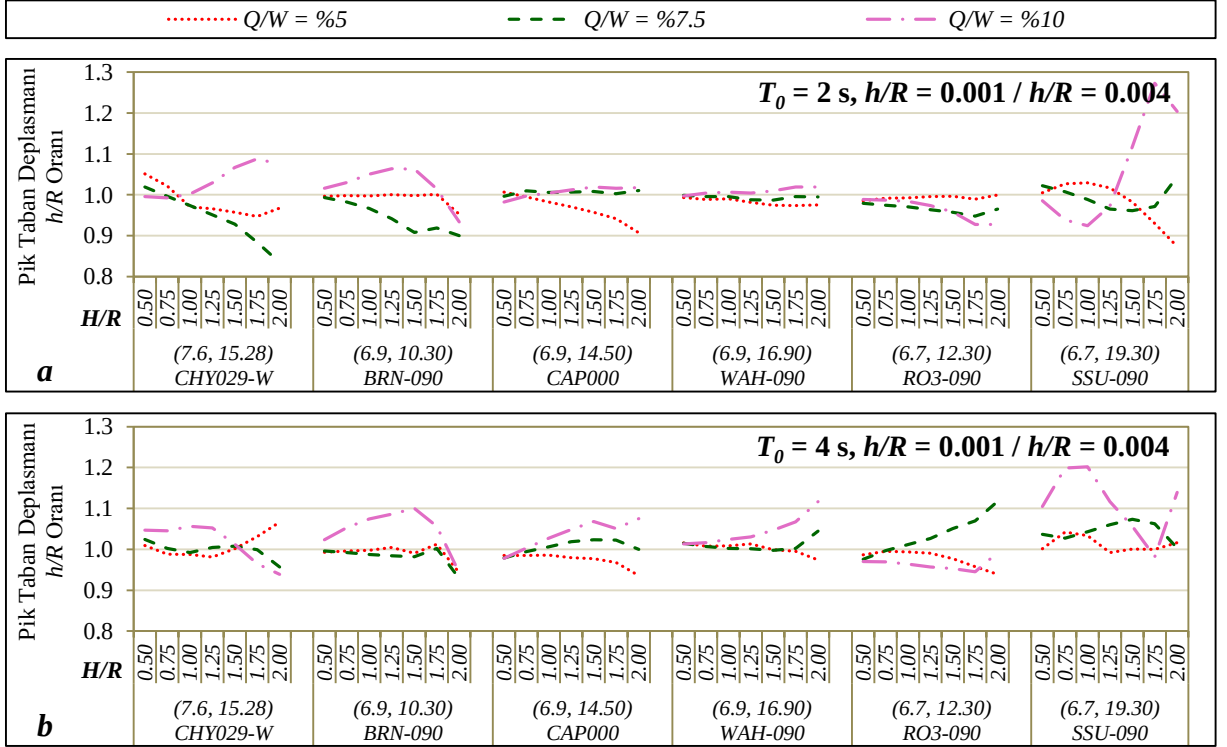
Şekil Ek 4.8: Farklı Q/W oranları için elde edilen pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti yanıtlarının birbirlerine göre oranları.



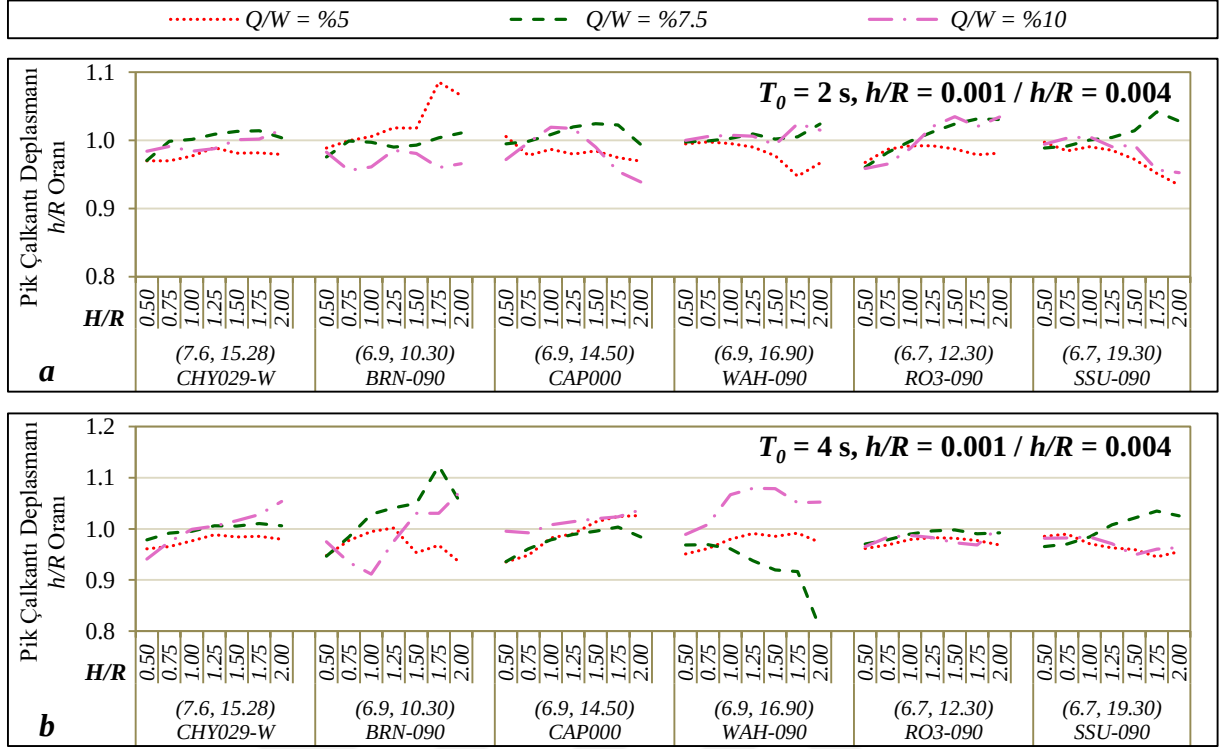
Şekil Ek 4.9: Farklı Q/W oranları için elde edilen pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtlarının birbirlerine göre oranları.



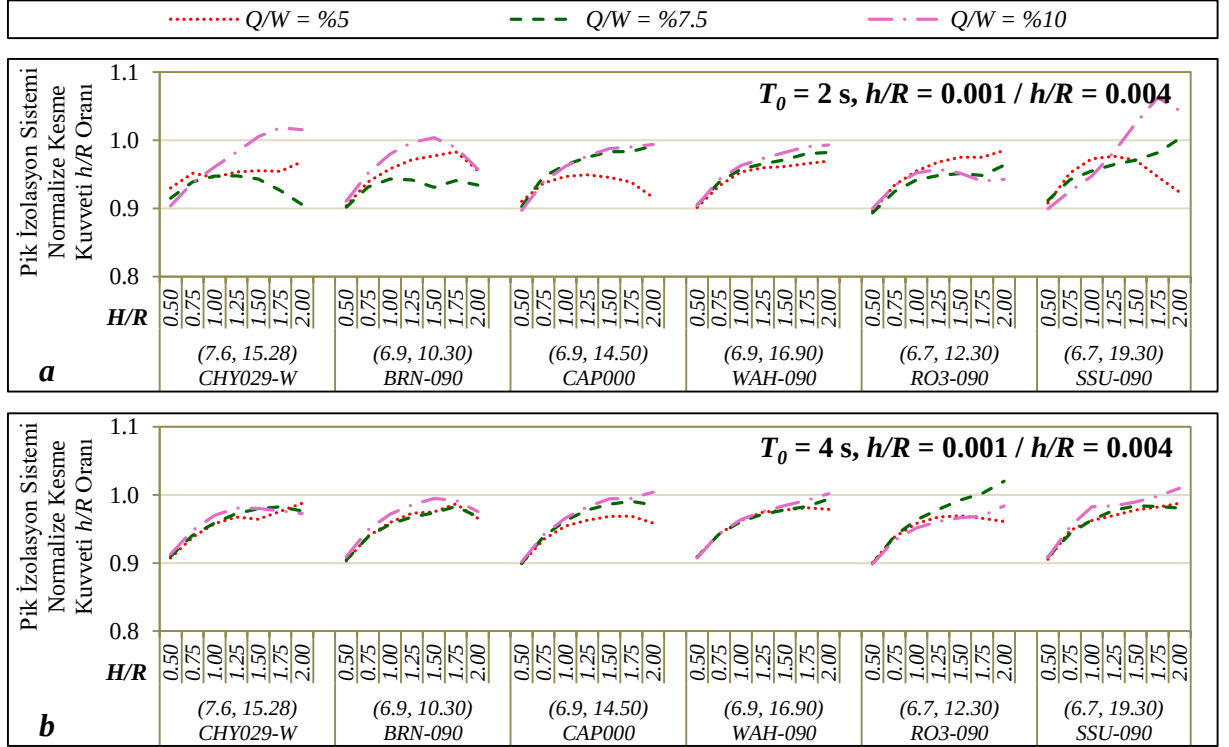
Şekil Ek 4.10: Farklı Q/W oranları için elde edilen pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtlarının birbirlerine göre oranları.



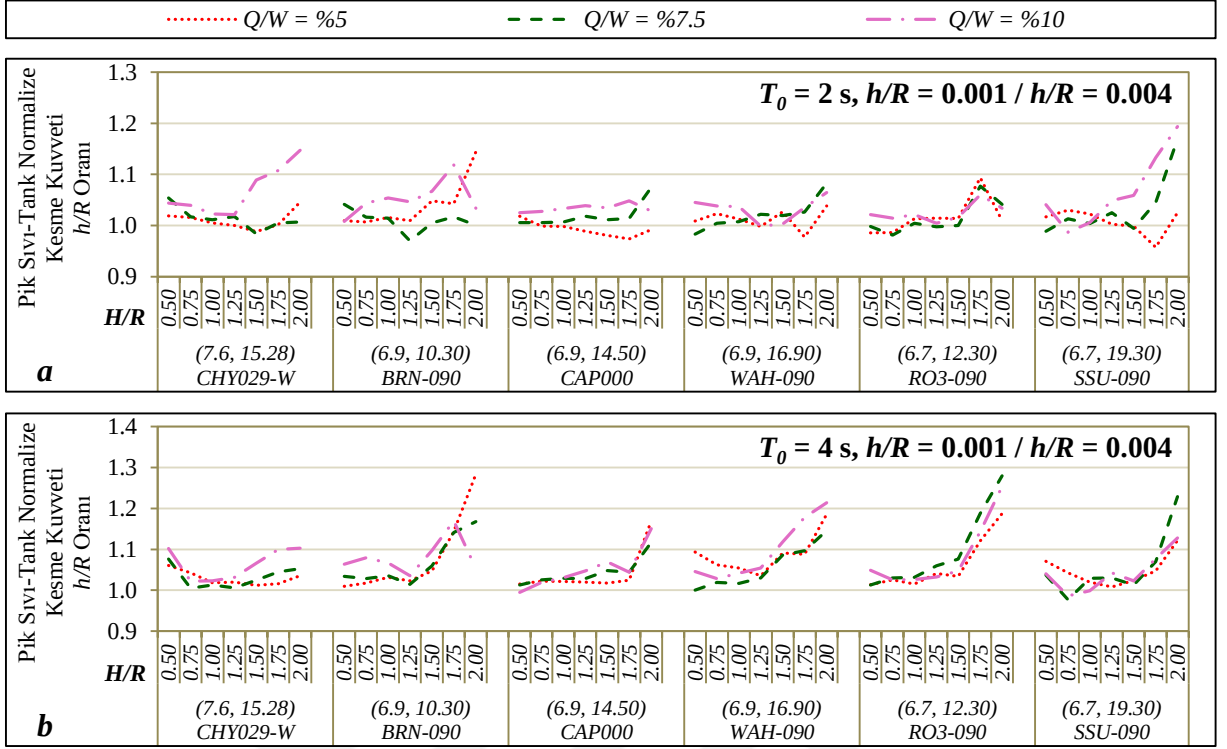
Şekil Ek 4.11: $h/R = 0.001$ tank esnekliği için elde edilen pik taban deplasmanı yanıtlarının $h/R = 0.004$ tank esnekliği için elde edilenlere oranı.



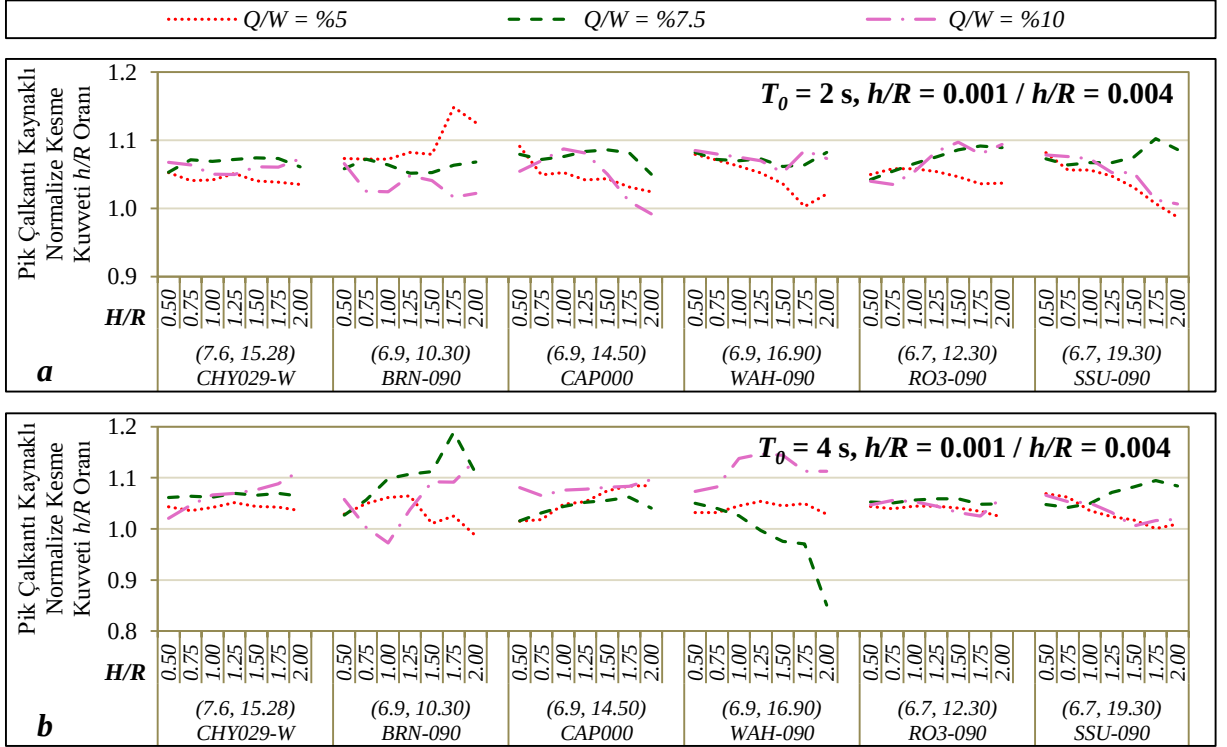
Şekil Ek 4.12: $h/R = 0.001$ tank esnekliği için elde edilen pik çalkantı deplasmanı yanıtlarının $h/R = 0.004$ tank esnekliği için elde edilenlere oranı.



Şekil Ek 4.13: $h/R = 0.001$ tank esnekliği için elde edilen pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti yanıtlarının $h/R = 0.004$ tank esnekliği için elde edilenlere oranı.

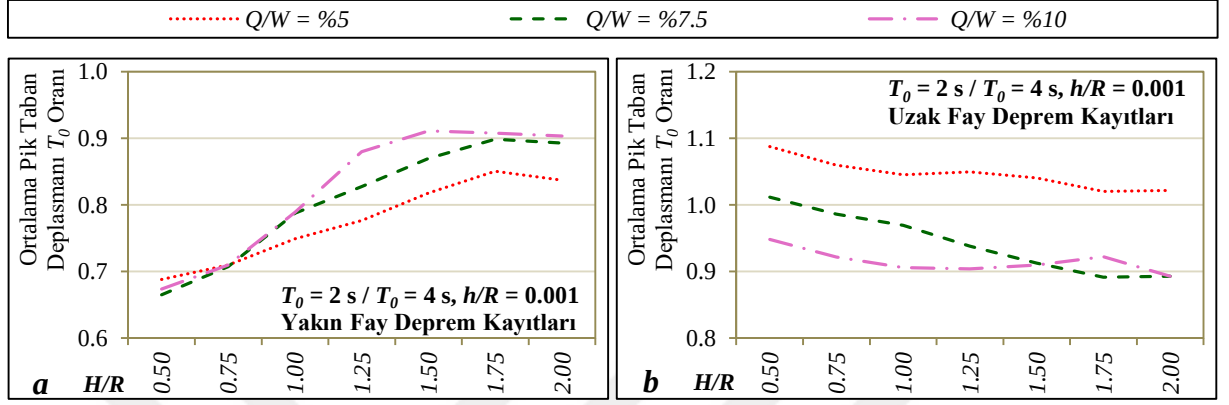


Şekil Ek 4.14: $h/R = 0.001$ tank esnekliği için elde edilen pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtlarının $h/R = 0.004$ tank esnekliği için elde edilenlere oranı.

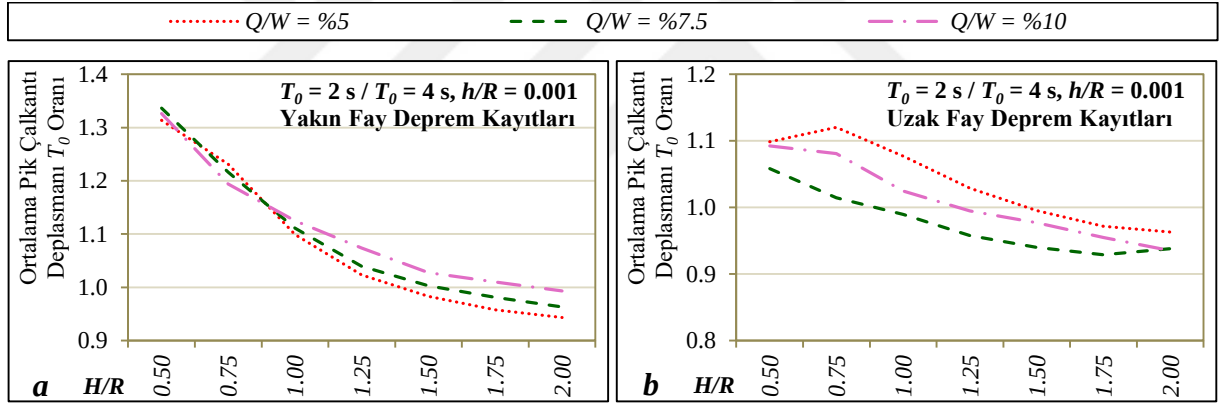


Şekil Ek 4.15: $h/R = 0.001$ tank esnekliği için elde edilen pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtlarının $h/R = 0.004$ tank esnekliği için elde edilenlere oranı.

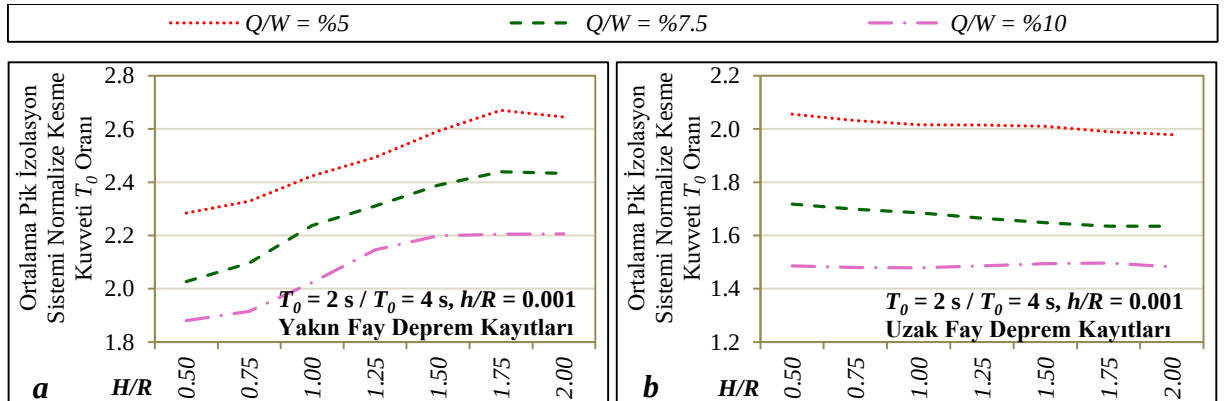
EK 5. İlave viskoz sönümleyici kullanılmayan taban izolasyonlu sıvı depolama tanklarının tarihi yakın fay ve uzak fay deprem kayıtları altında elde edilen sismik analiz sonuçlarının ortalama değerler üzerinden karşılaştırılması.



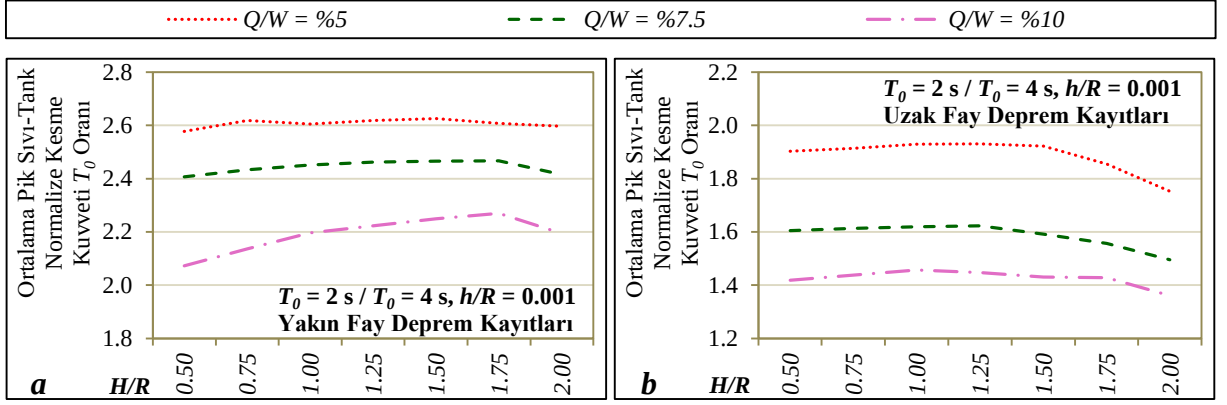
Şekil Ek 5.1: $T_0 = 2 \text{ s}$ izolasyon periyodu için elde edilen ortalama pik taban deplasmanı yanıtlarının $T_0 = 4 \text{ s}$ izolasyon periyodu için elde edilenlere oranı.



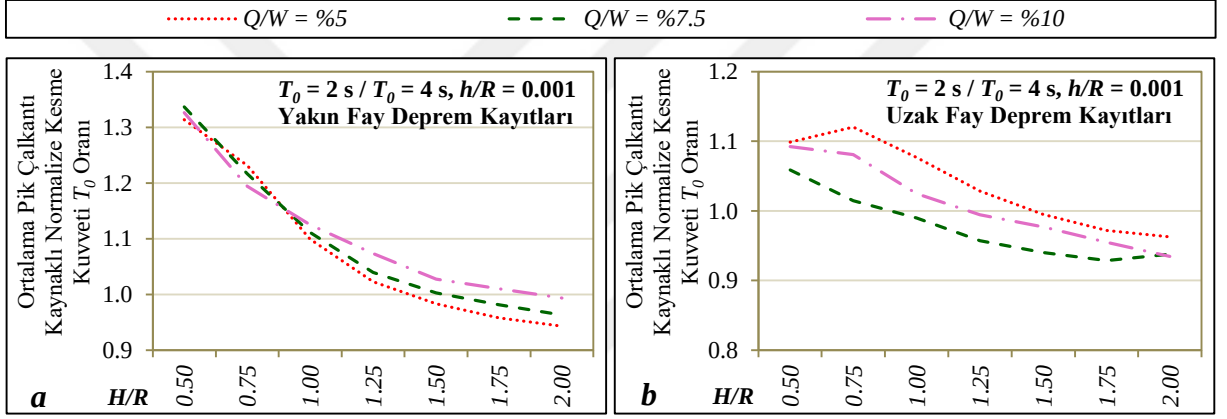
Şekil Ek 5.2: $T_0 = 2 \text{ s}$ izolasyon periyodu için elde edilen ortalama pik çalkantı deplasmanı yanıtlarının $T_0 = 4 \text{ s}$ izolasyon periyodu için elde edilenlere oranı.



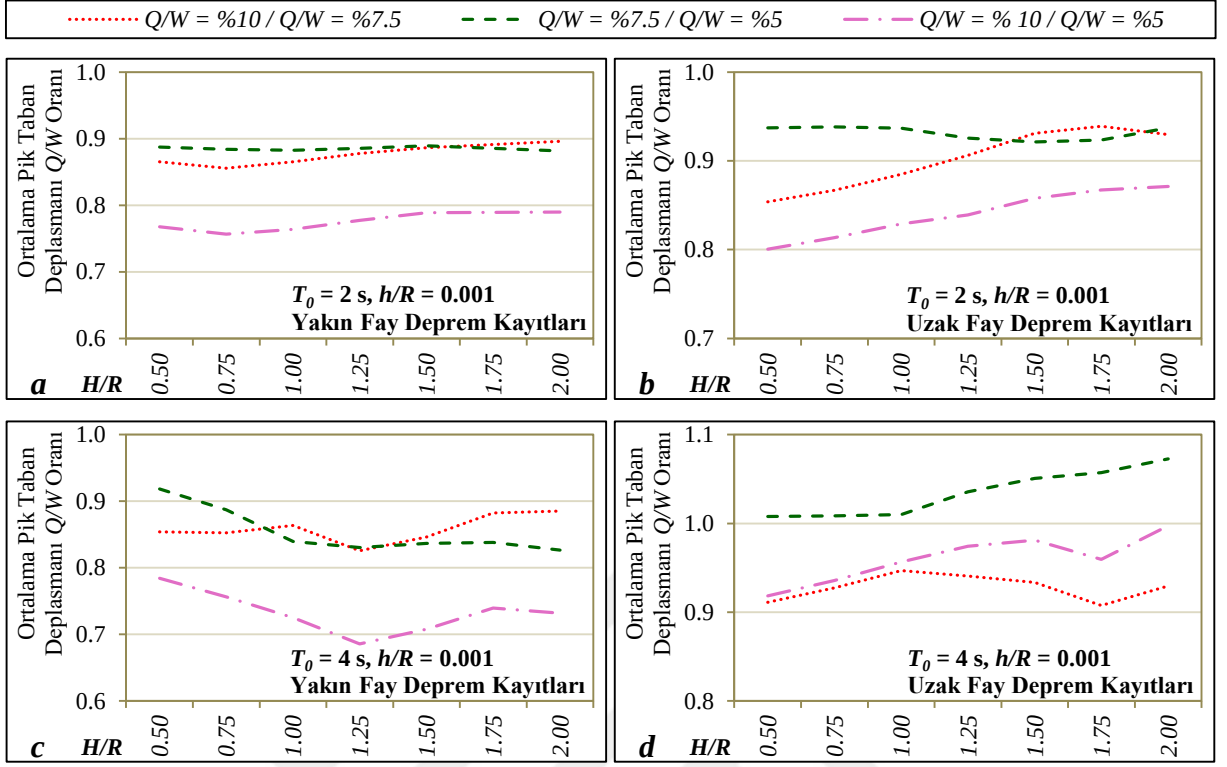
Şekil Ek 5.3: $T_0 = 2 \text{ s}$ izolasyon periyodu için elde edilen ortalama pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti yanıtlarının $T_0 = 4 \text{ s}$ izolasyon periyodu için elde edilenlere oranı.



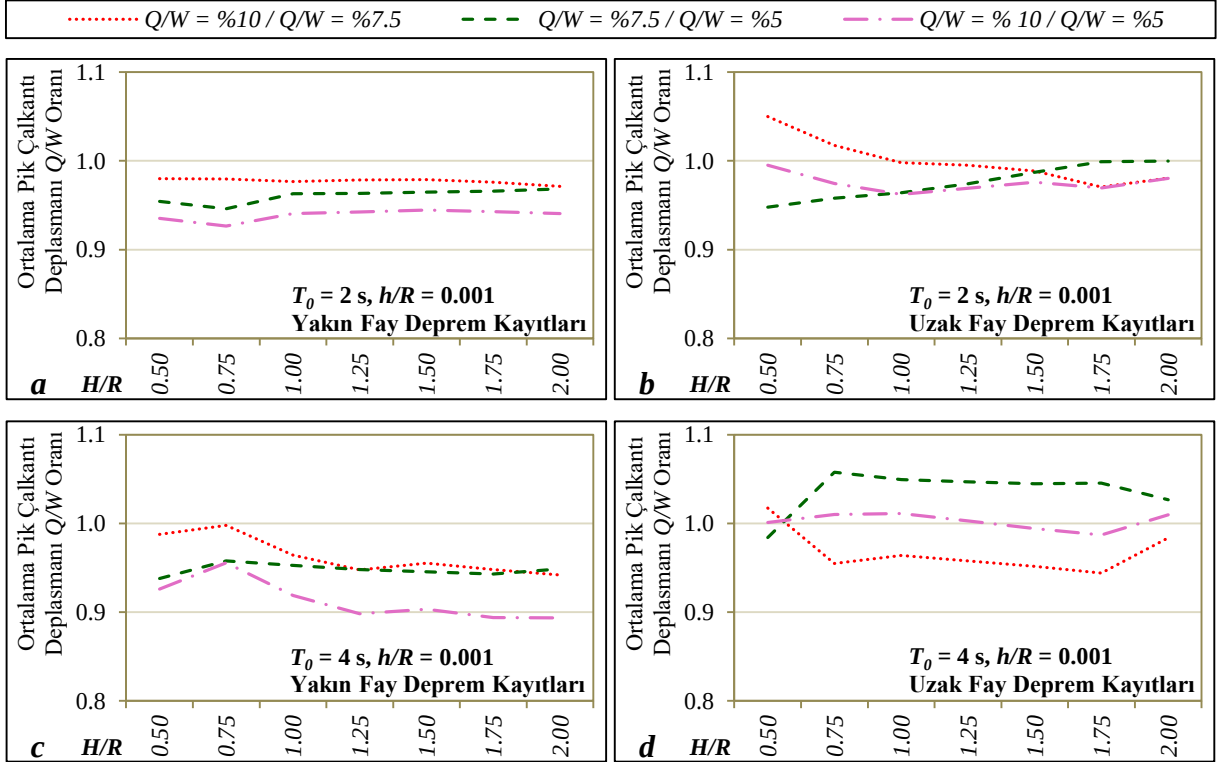
Şekil Ek 5.4: $T_0 = 2$ s izolasyon periyodu için elde edilen ortalama pık sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtlarının $T_0 = 4$ s izolasyon periyodu için elde edilenlere oranı.



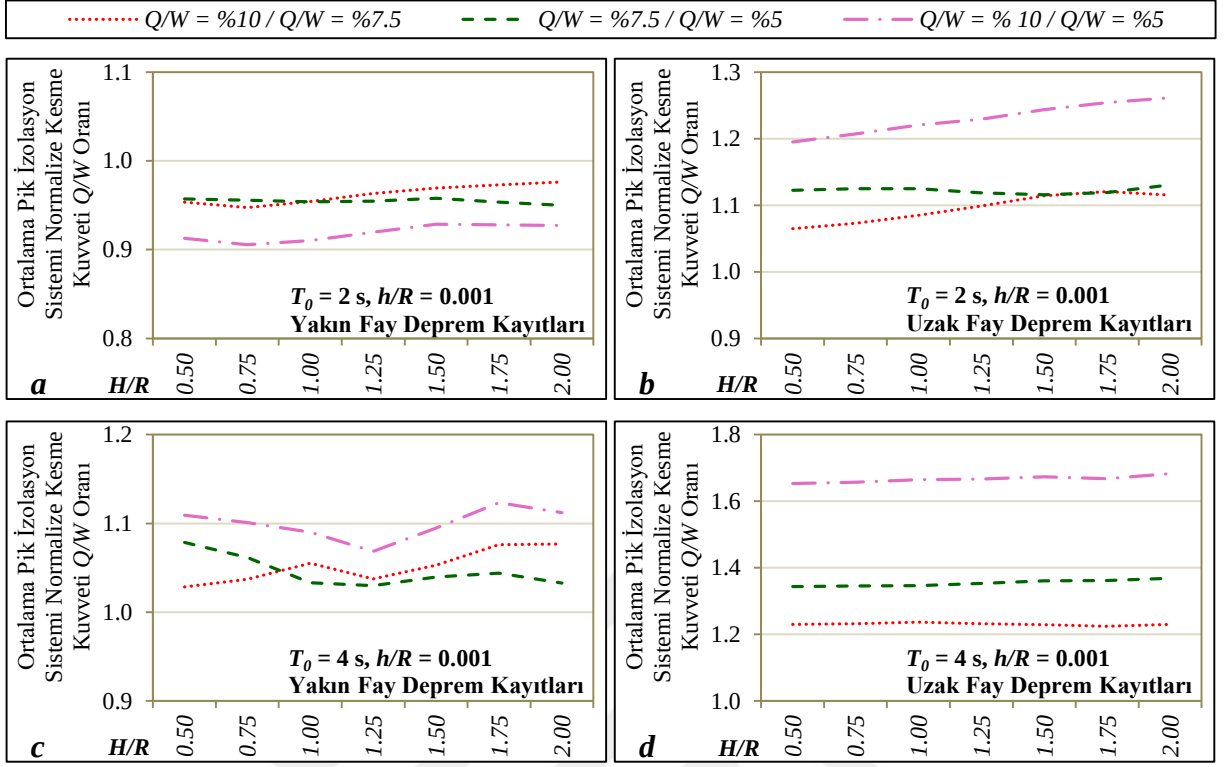
Şekil Ek 5.5: $T_0 = 2$ s izolasyon periyodu için elde edilen ortalama pık çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtlarının $T_0 = 4$ s izolasyon periyodu için elde edilenlere oranı.



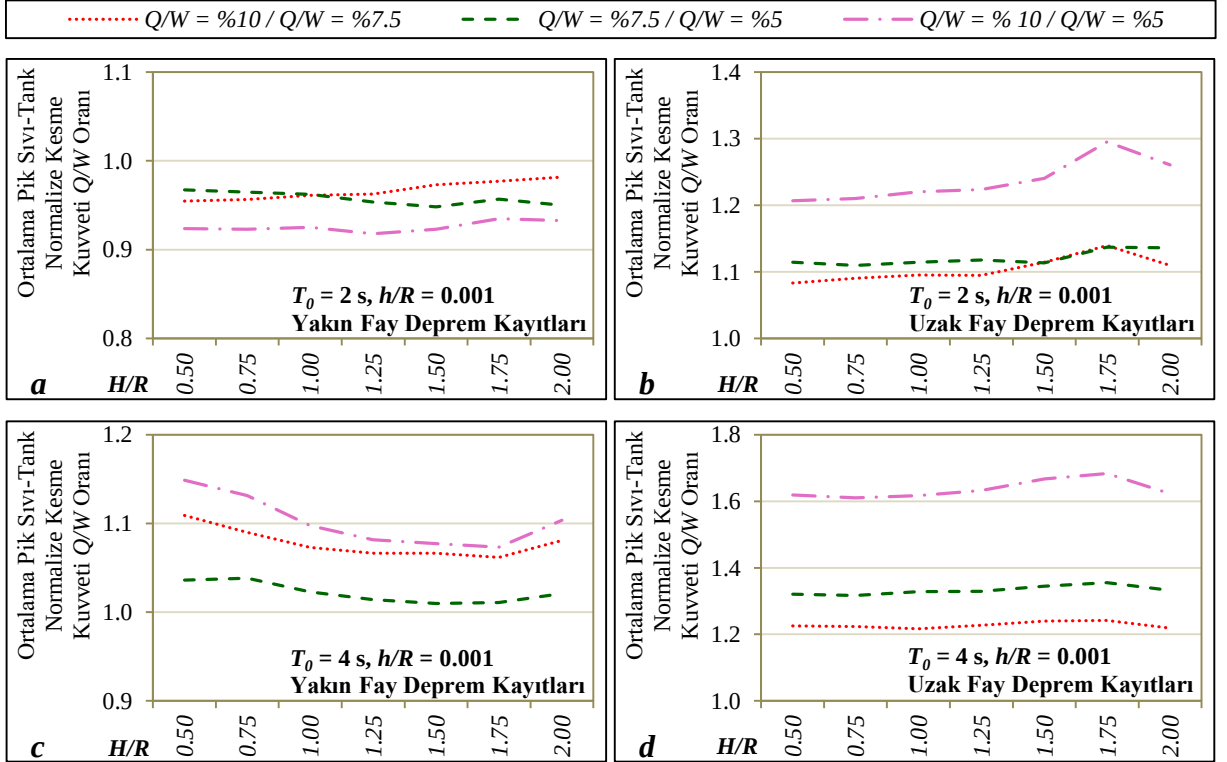
Şekil Ek 5.6: Farklı Q/W oranları için elde edilen ortalama pik taban deplasmanı yanıtlarının birbirlerine göre oranları.



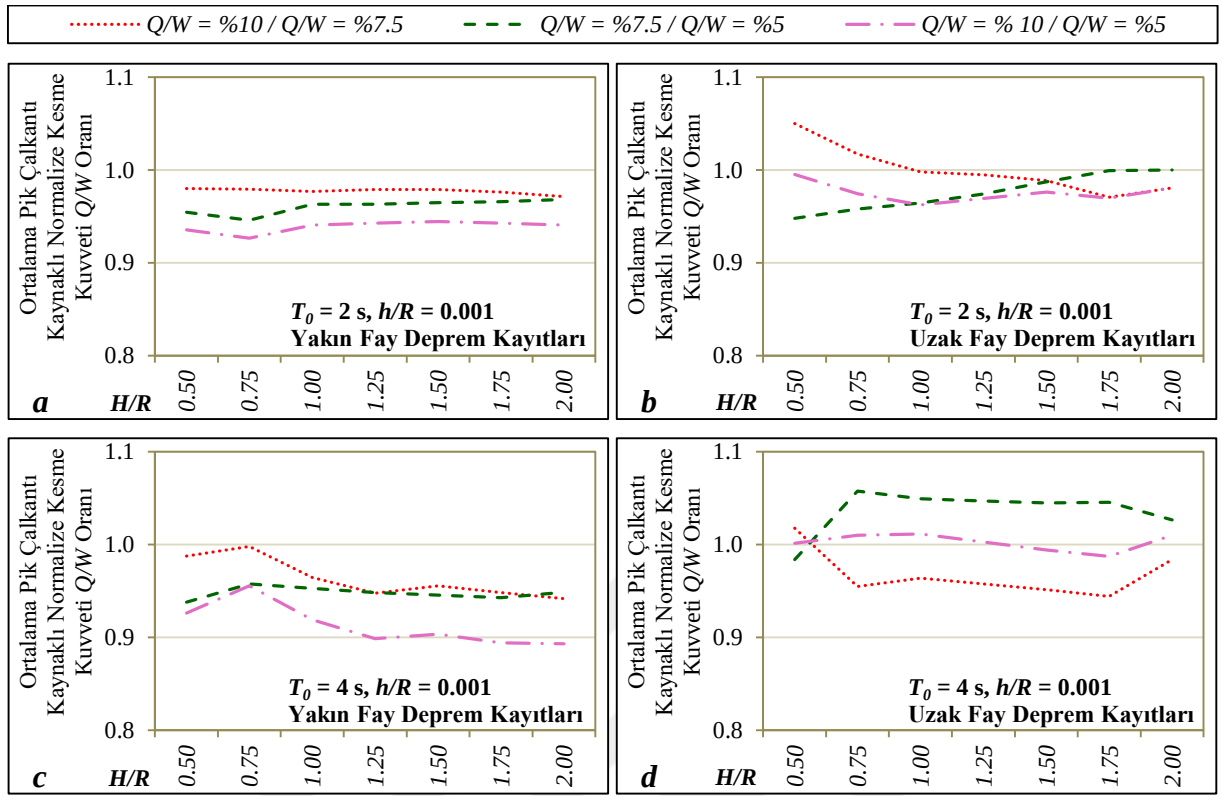
Şekil Ek 5.7: Farklı Q/W oranları için elde edilen ortalama pik çalkantı deplasmanı yanıtlarının birbirlerine göre oranları.



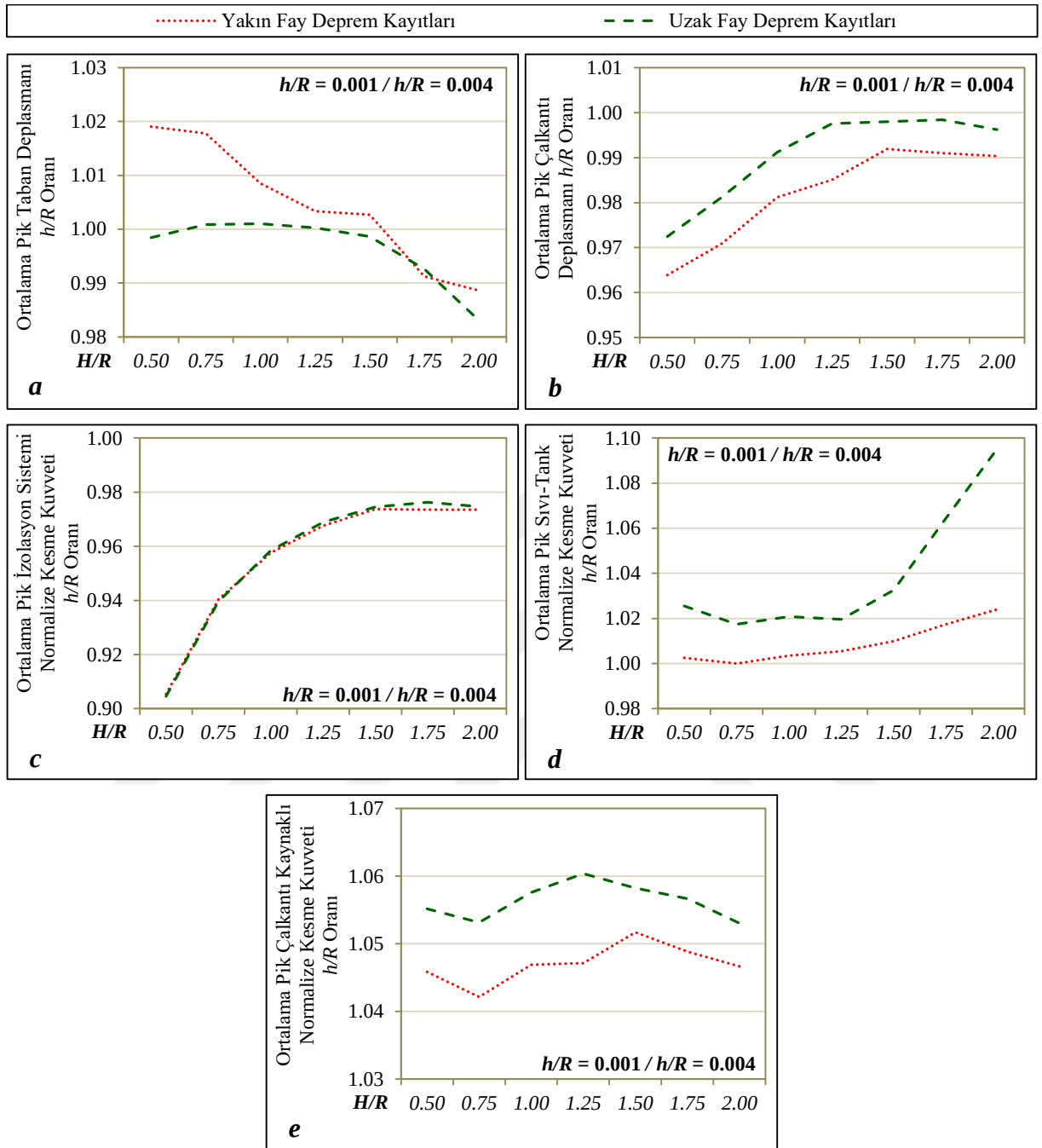
Şekil Ek 5.8: Farklı Q/W oranları için elde edilen ortalama pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti yanıtlarının birbirlerine göre oranları.



Şekil Ek 5.9: Farklı Q/W oranları için elde edilen ortalama pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtlarının birbirlerine göre oranları.

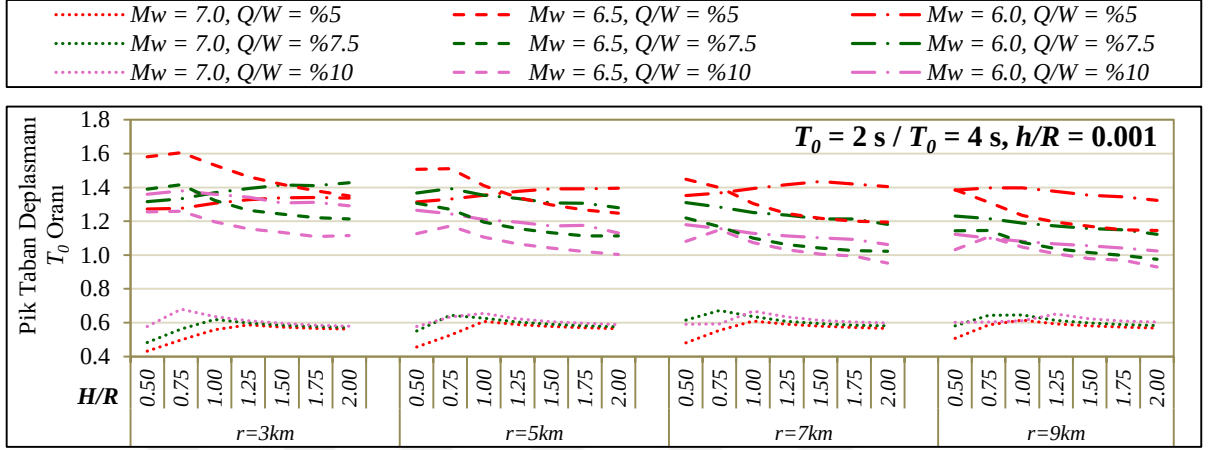


Şekil Ek 5.10: Farklı Q/W oranları için elde edilen ortalama pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtlarının birbirlerine göre oranları.

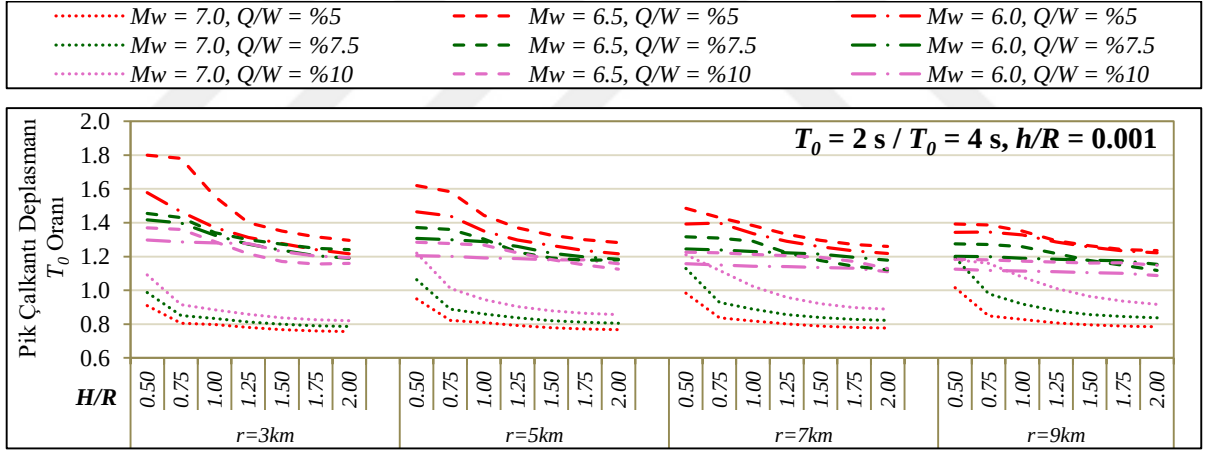


Şekil Ek 5.11: $h/R = 0.001$ tank esnekliği için elde edilen pik yanıt ortalamalarının $h/R = 0.004$ tank esnekliği için elde edilenlere oranı.

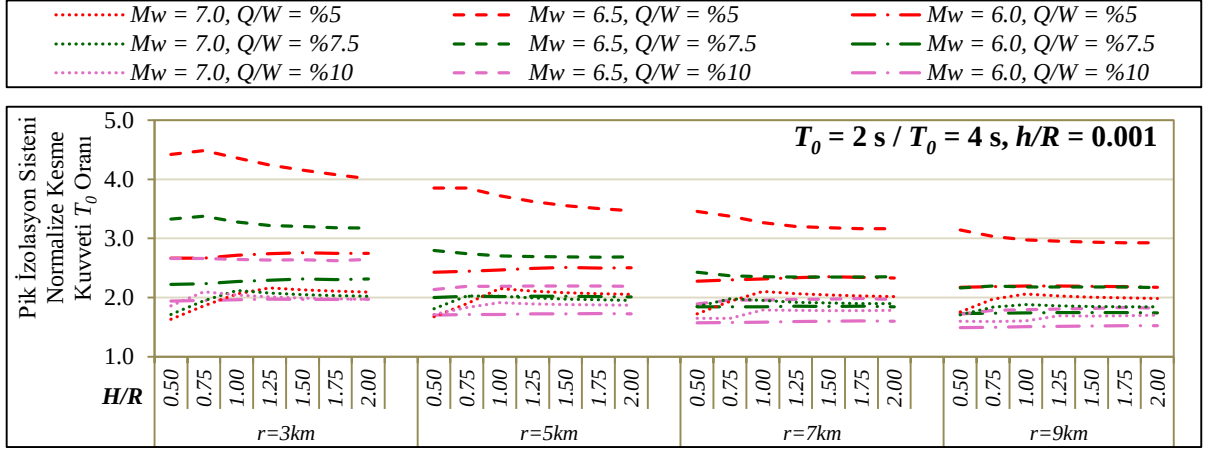
EK 6. İlave viskoz sönümleyici kullanılmayan taban izolasyonlu sıvı depolama tanklarının sentetik yakın fay deprem kayıtları altında elde edilen sismik analiz sonuçları.



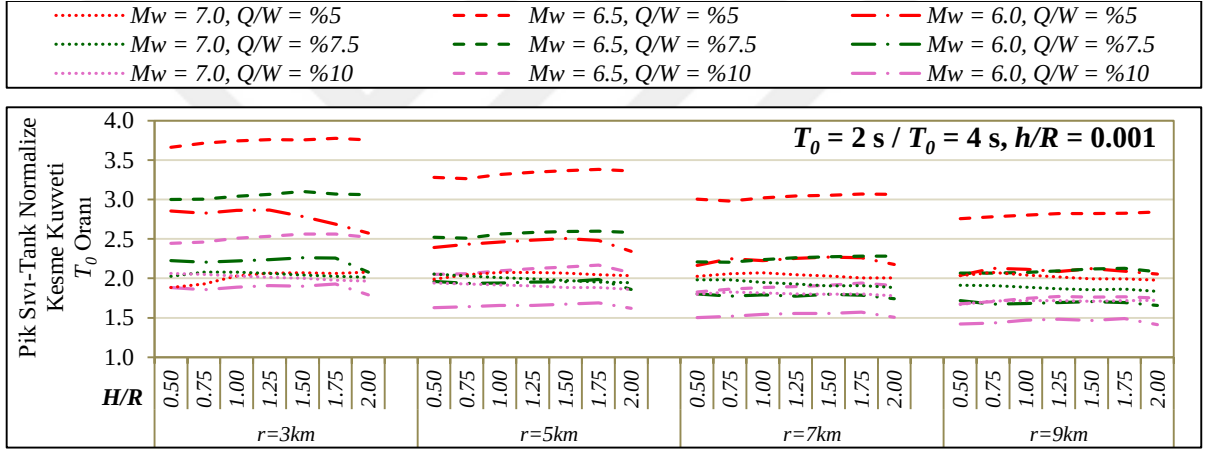
Şekil Ek 6.1: $h/R = 0.001$ durumunda $T_0 = 2$ s izolasyon periyodu için elde edilen pik taban deplasmanı yanıtlarının $T_0 = 4$ s izolasyon periyodu için elde edilenlere oranı.



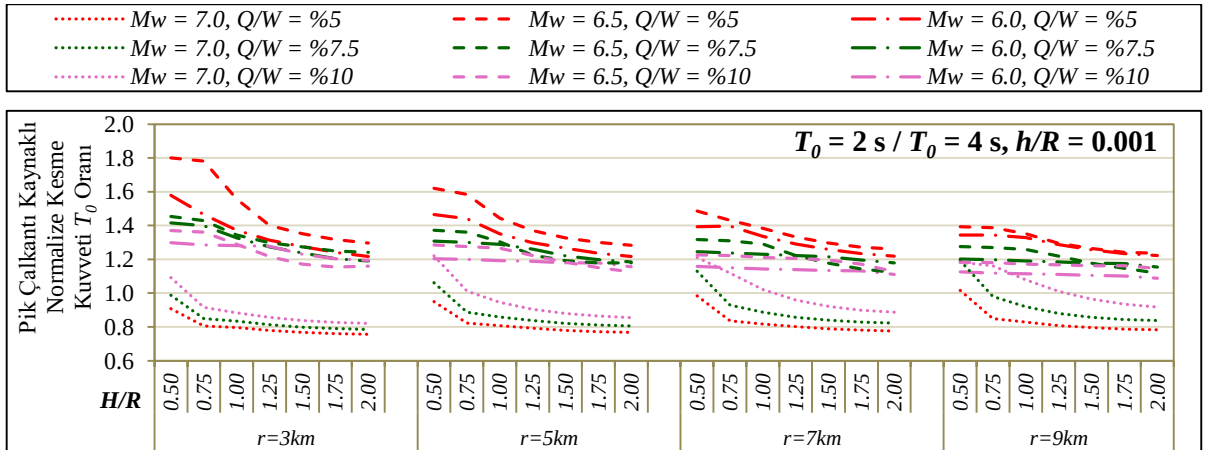
Şekil Ek 6.2: $h/R = 0.001$ durumunda $T_0 = 2$ s izolasyon periyodu için elde edilen pik çalkantı deplasmanı yanıtlarının $T_0 = 4$ s izolasyon periyodu için elde edilenlere oranı.



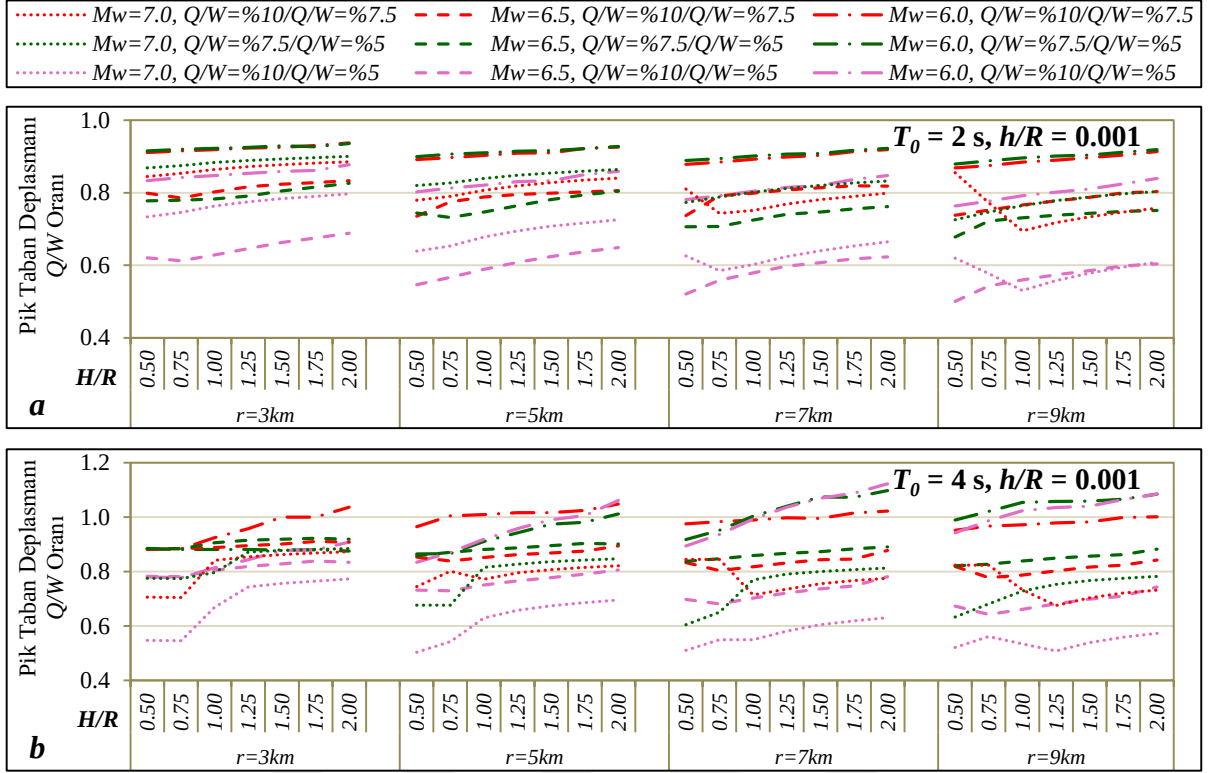
Şekil Ek 6.3: $h/R = 0.001$ durumunda $T_0 = 2$ s izolasyon periyodu için elde edilen pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti yanıtlarının $T_0 = 4$ s izolasyon periyodu için elde edilenlere oranı.



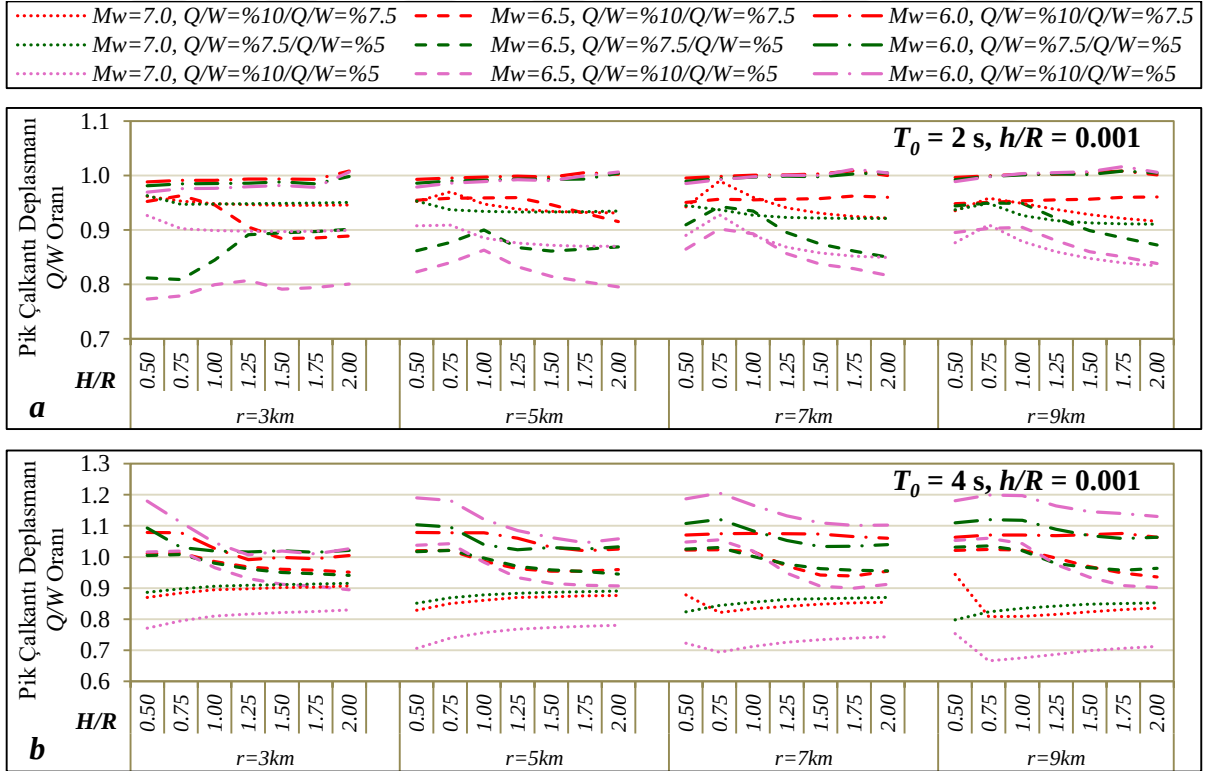
Şekil Ek 6.4: $h/R = 0.001$ durumunda $T_0 = 2$ s izolasyon periyodu için elde edilen pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtlarının $T_0 = 4$ s izolasyon periyodu için elde edilenlere oranı.



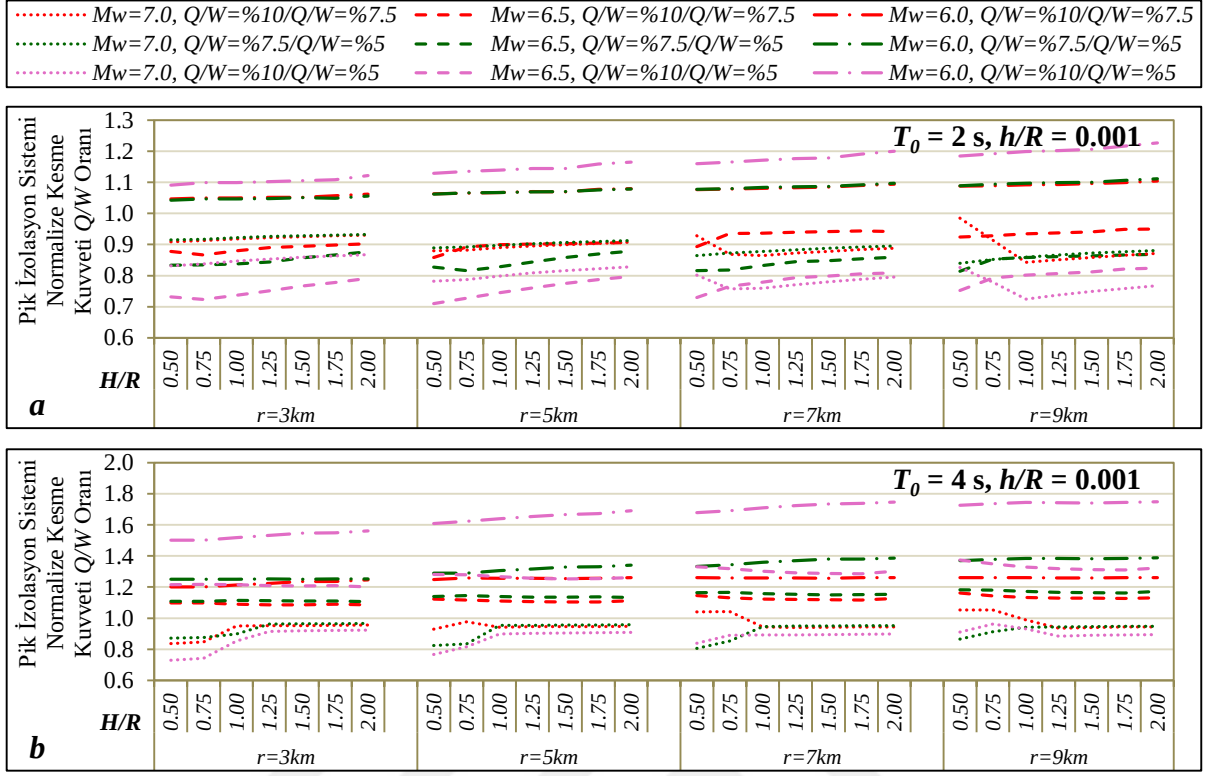
Şekil Ek 6.5: $h/R = 0.001$ durumunda $T_0 = 2$ s izolasyon periyodu için elde edilen pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtlarının $T_0 = 4$ s izolasyon periyodu için elde edilenlere oranı.



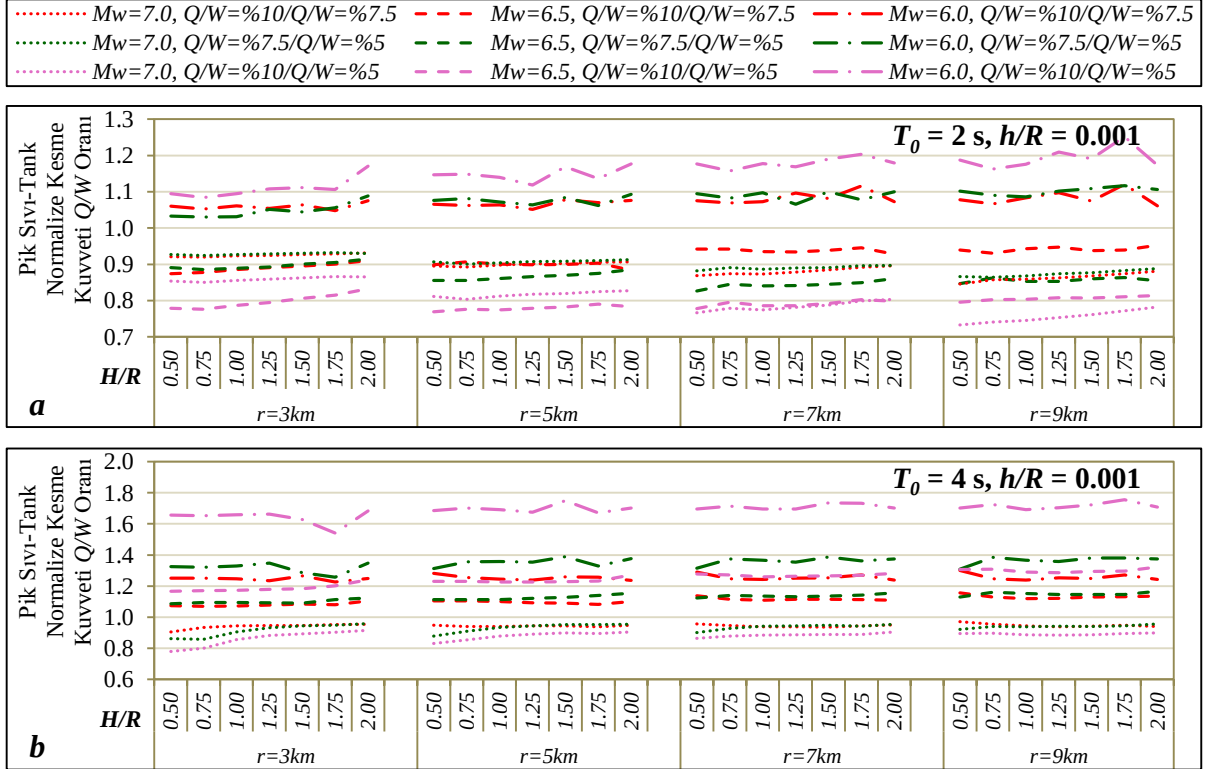
Şekil Ek 6.6: Farklı Q/W oranları için elde edilen pik taban deplasmanı yanıtlarının birbirlerine göre oranları.



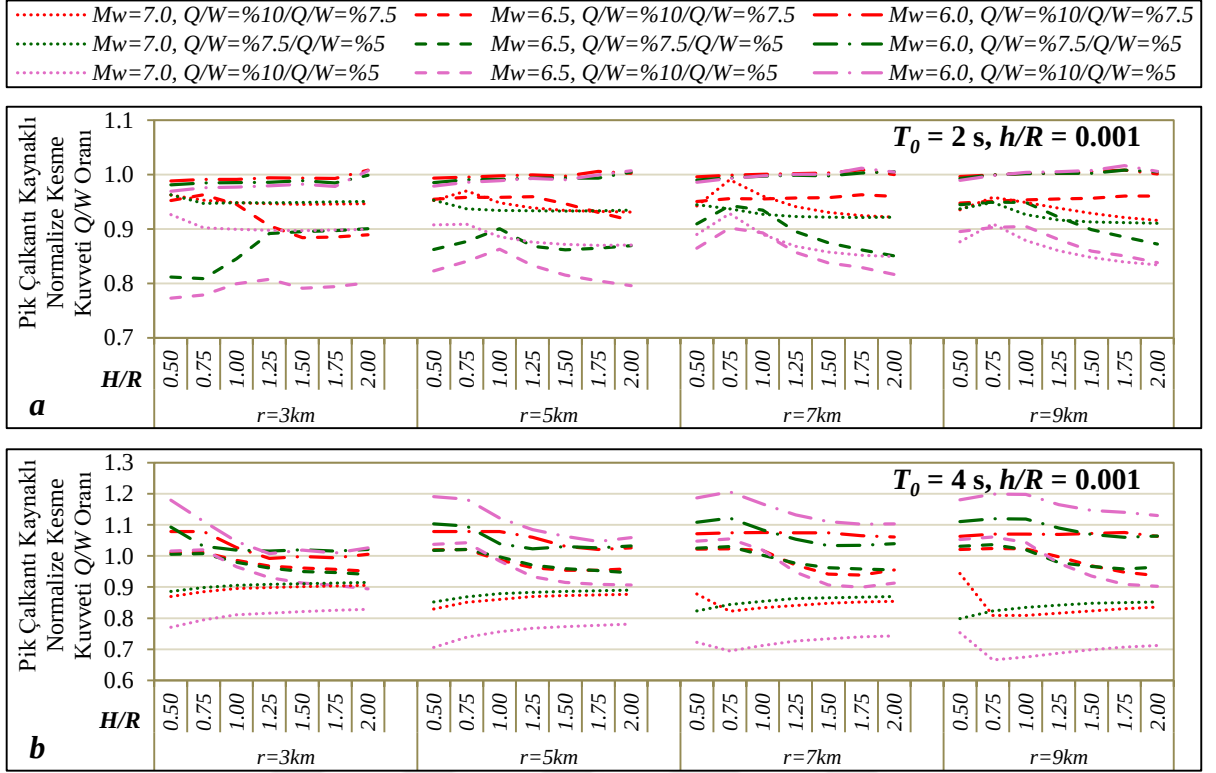
Şekil Ek 6.7: Farklı Q/W oranları için elde edilen pik çalkantı deplasmanı yanıtlarının birbirlerine göre oranları.



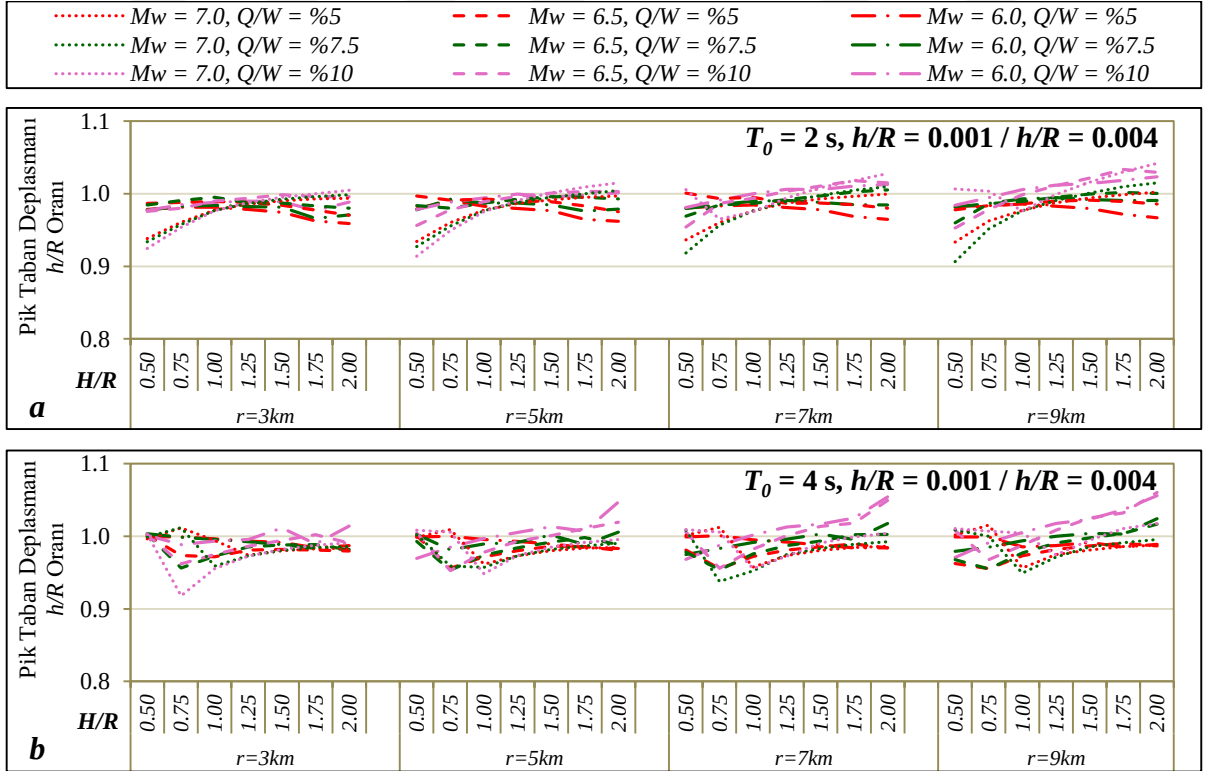
Şekil Ek 6.8: Farklı Q/W oranları için elde edilen pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti yanıtlarının birbirlerine göre oranları.



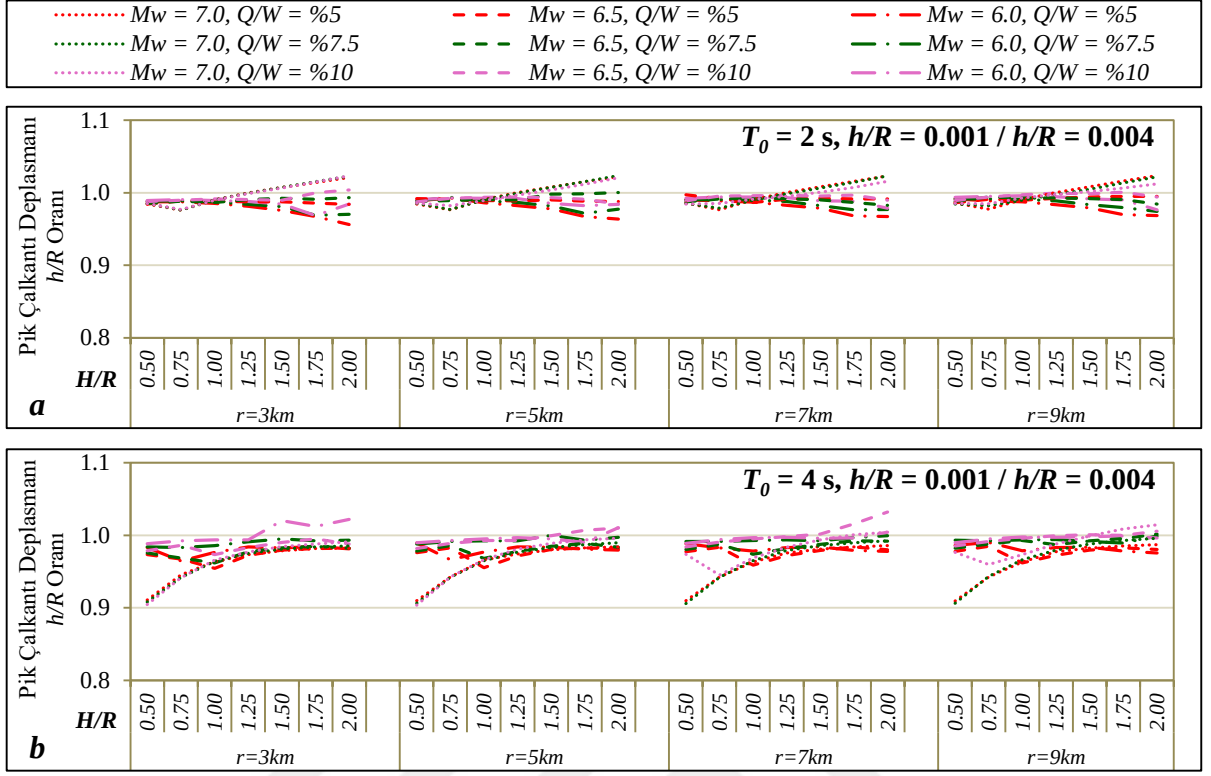
Şekil Ek 6.9: Farklı Q/W oranları için elde edilen pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtlarının birbirlerine göre oranları.



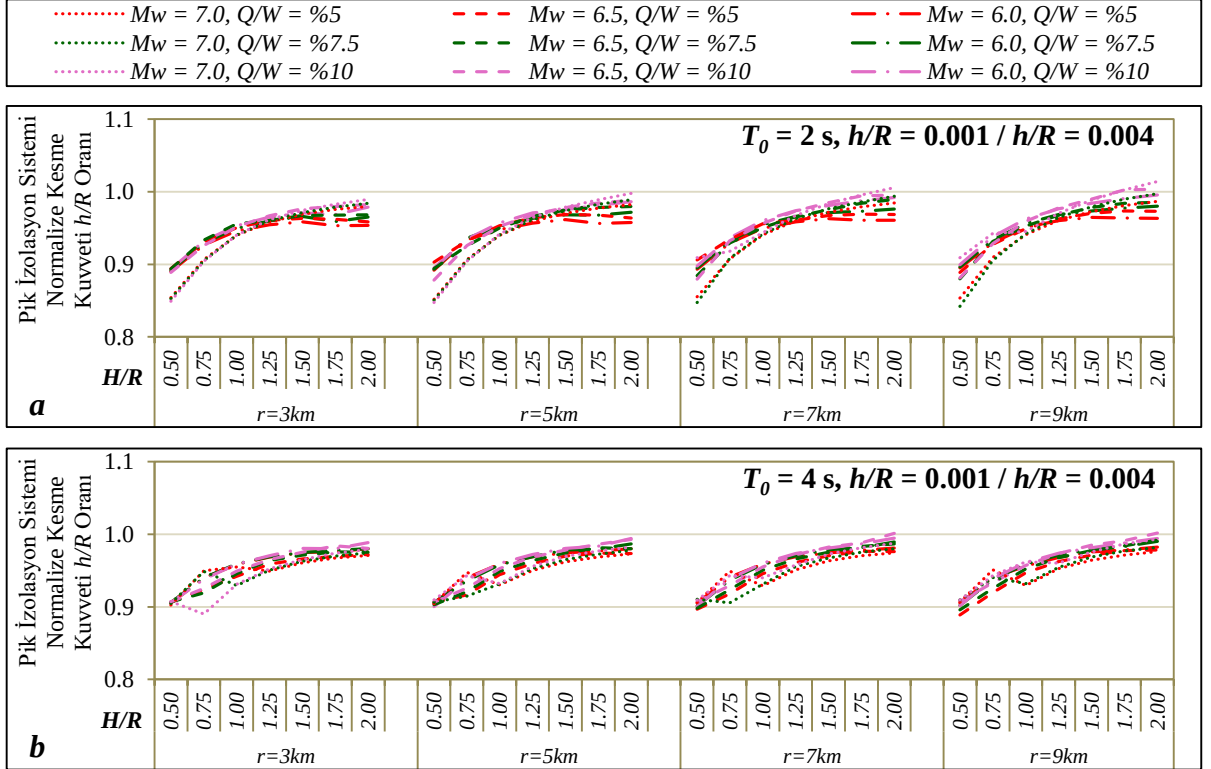
Şekil Ek 6.10: Farklı Q/W oranları için elde edilen pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtlarının birbirlerine göre oranları.



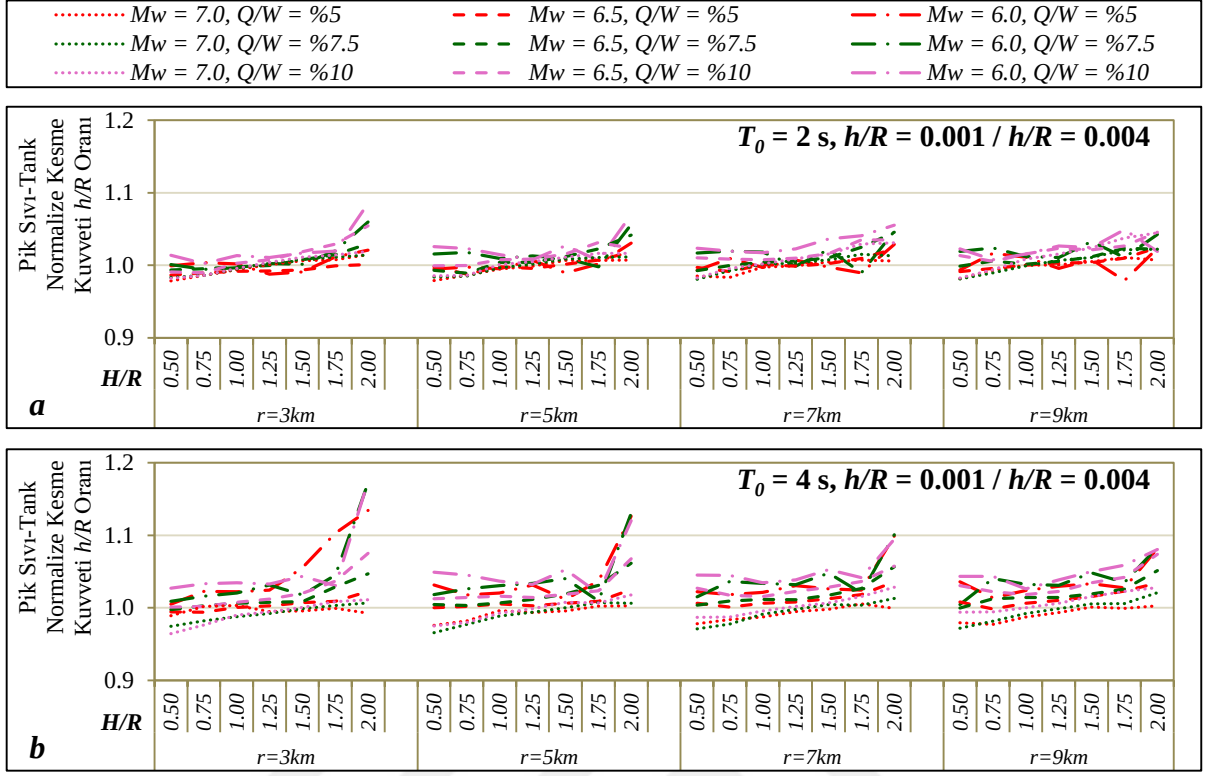
Şekil Ek 6.11: $h/R = 0.001$ tank esnekliği için elde edilen pik taban deplasmanı yanıtlarının $h/R = 0.004$ tank esnekliği için elde edilenlere oranı.



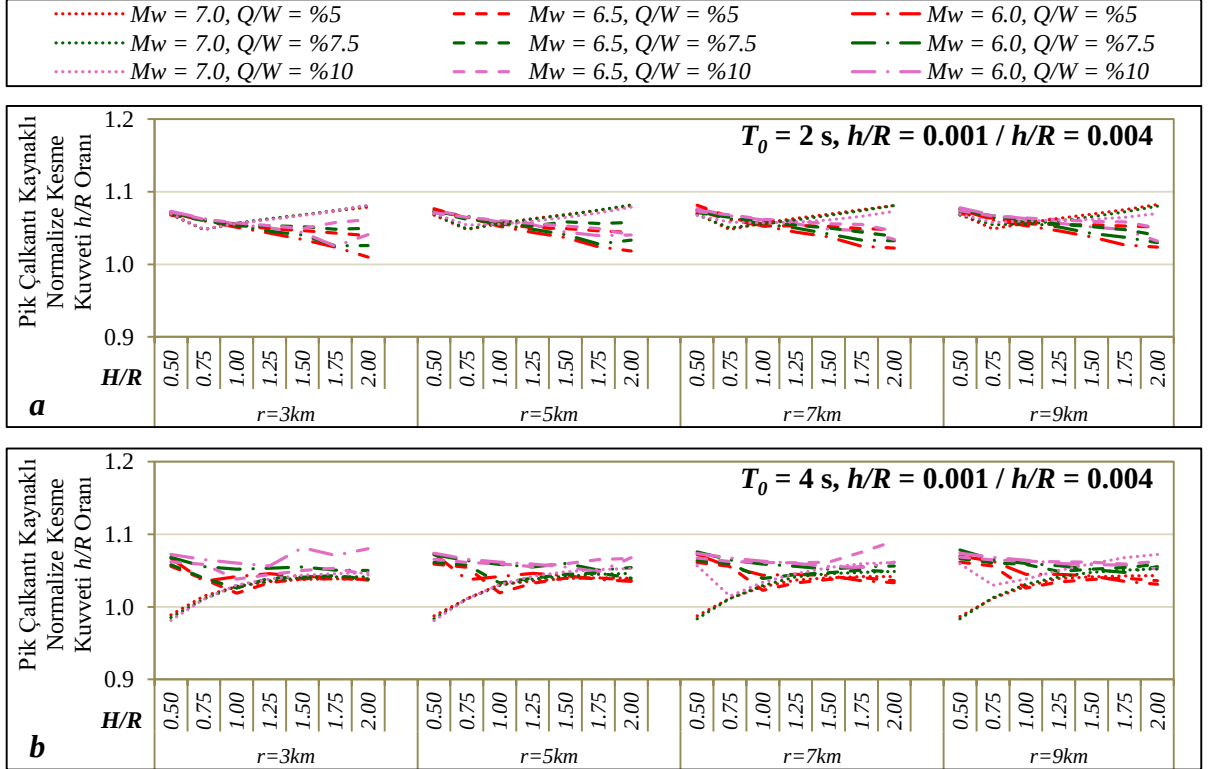
Şekil Ek 6.12: $h/R = 0.001$ tank esnekliği için elde edilen pik çalkantı deplasmanı yanıtlarının $h/R = 0.004$ tank esnekliği için elde edilenlere oranı.



Şekil Ek 6.13: $h/R = 0.001$ tank esnekliği için elde edilen pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti yanıtlarının $h/R = 0.004$ tank esnekliği için elde edilenlere oranı.

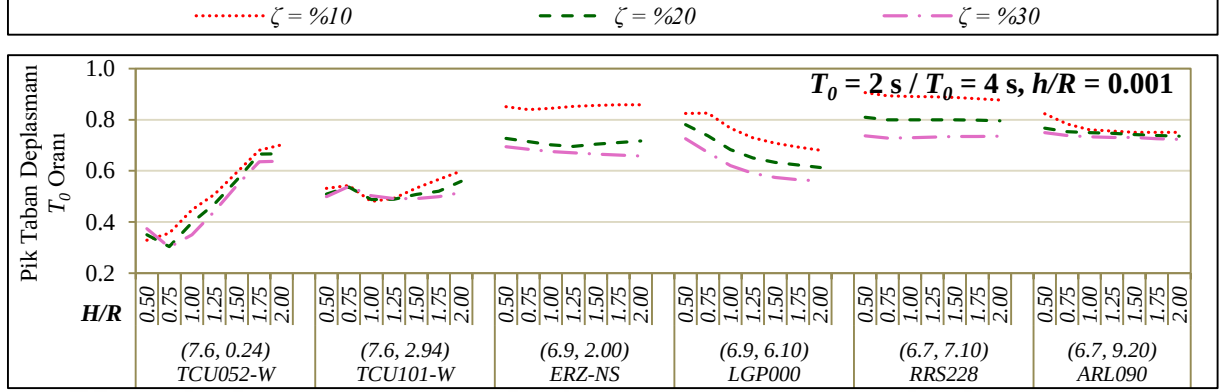


Şekil Ek 6.14: $h/R = 0.001$ tank esnekliği için elde edilen pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtlarının $h/R = 0.004$ tank esnekliği için elde edilenlere oranı.

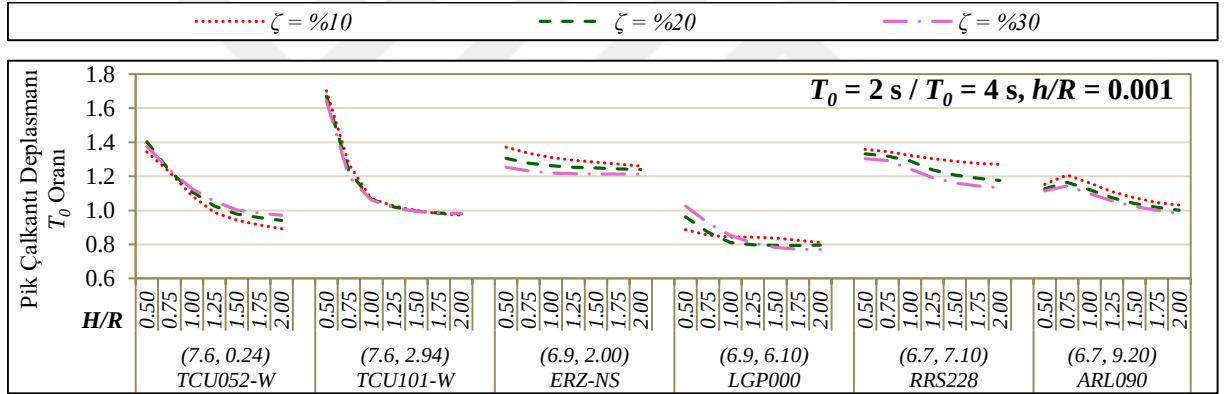


Şekil Ek 6.15: $h/R = 0.001$ tank esnekliği için elde edilen pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtlarının $h/R = 0.004$ tank esnekliği için elde edilenlere oranı.

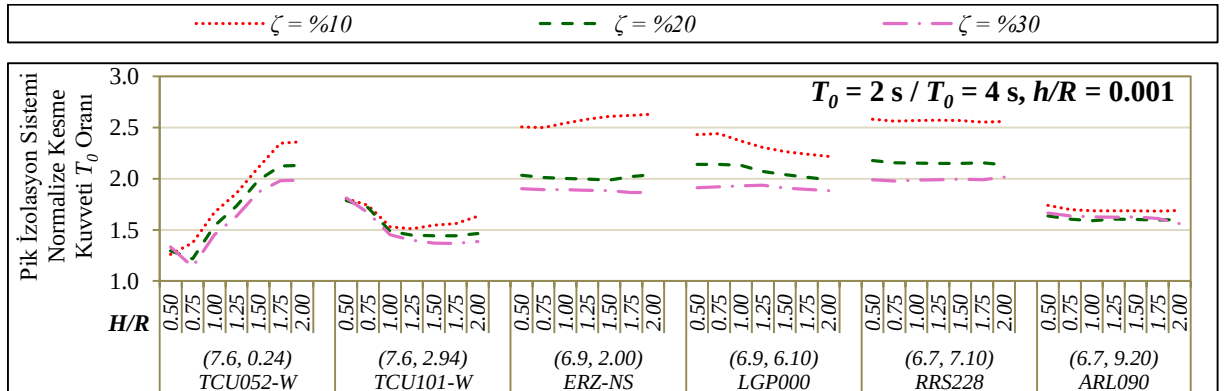
EK 7. İlave viskoz sönümleyici kullanılan taban izolasyonlu sıvı depolama tanklarının tarihi yakın fay deprem kayıtları altında elde edilen sismik analiz sonuçları.



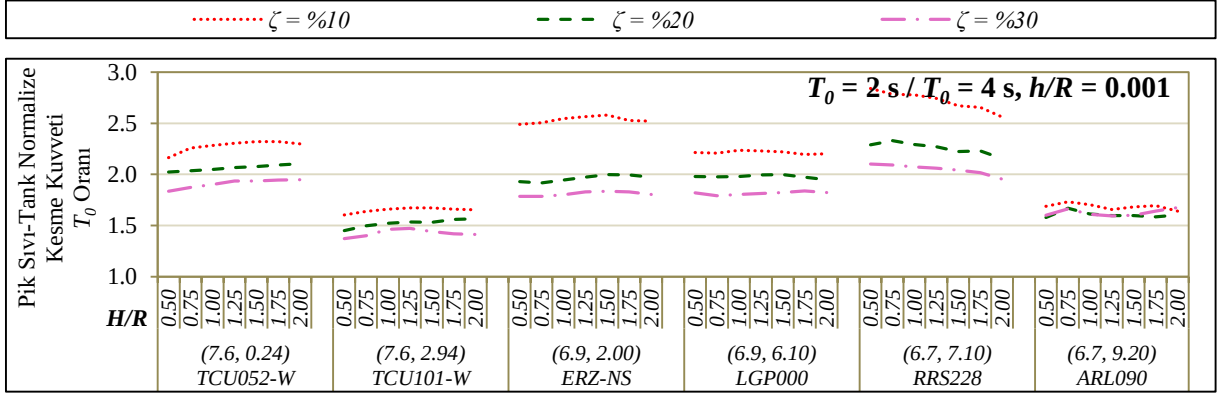
Şekil Ek 7.1: $h/R = 0.001$ durumunda $T_0 = 2$ s izolasyon periyodu için elde edilen pik taban deplasmanı yanıtlarının $T_0 = 4$ s izolasyon periyodu için elde edilenlere oranı.



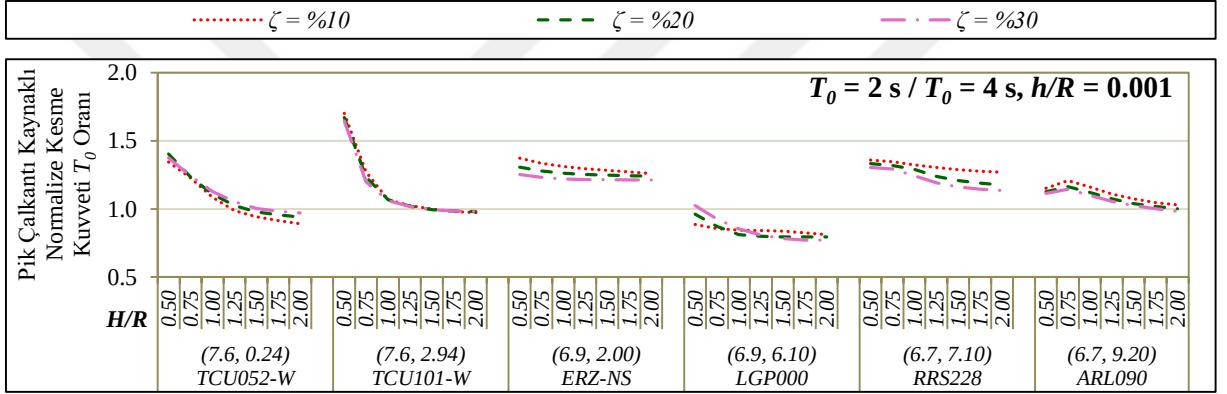
Şekil Ek 7.2: $h/R = 0.001$ durumunda $T_0 = 2$ s izolasyon periyodu için elde edilen pik çalkantı deplasmanı yanıtlarının $T_0 = 4$ s izolasyon periyodu için elde edilenlere oranı.



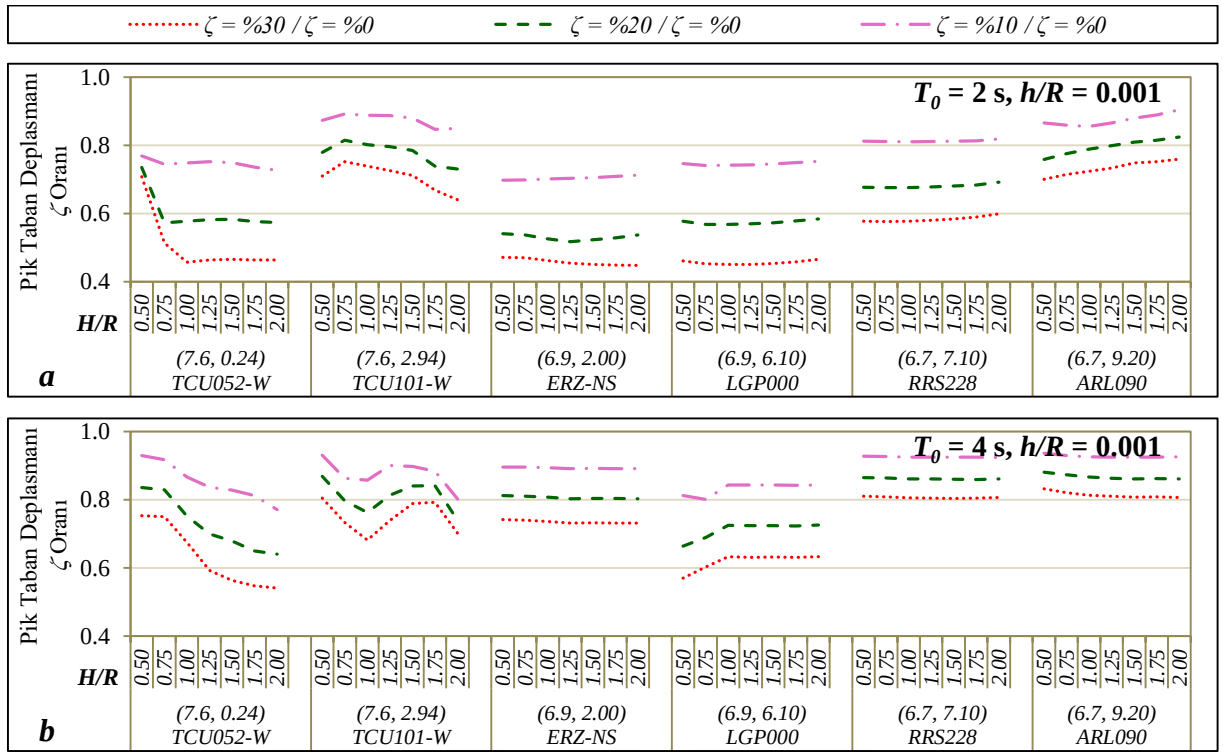
Şekil Ek 7.3: $h/R = 0.001$ durumunda $T_0 = 2$ s izolasyon periyodu için elde edilen pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti yanıtlarının $T_0 = 4$ s izolasyon periyodu için elde edilenlere oranı.



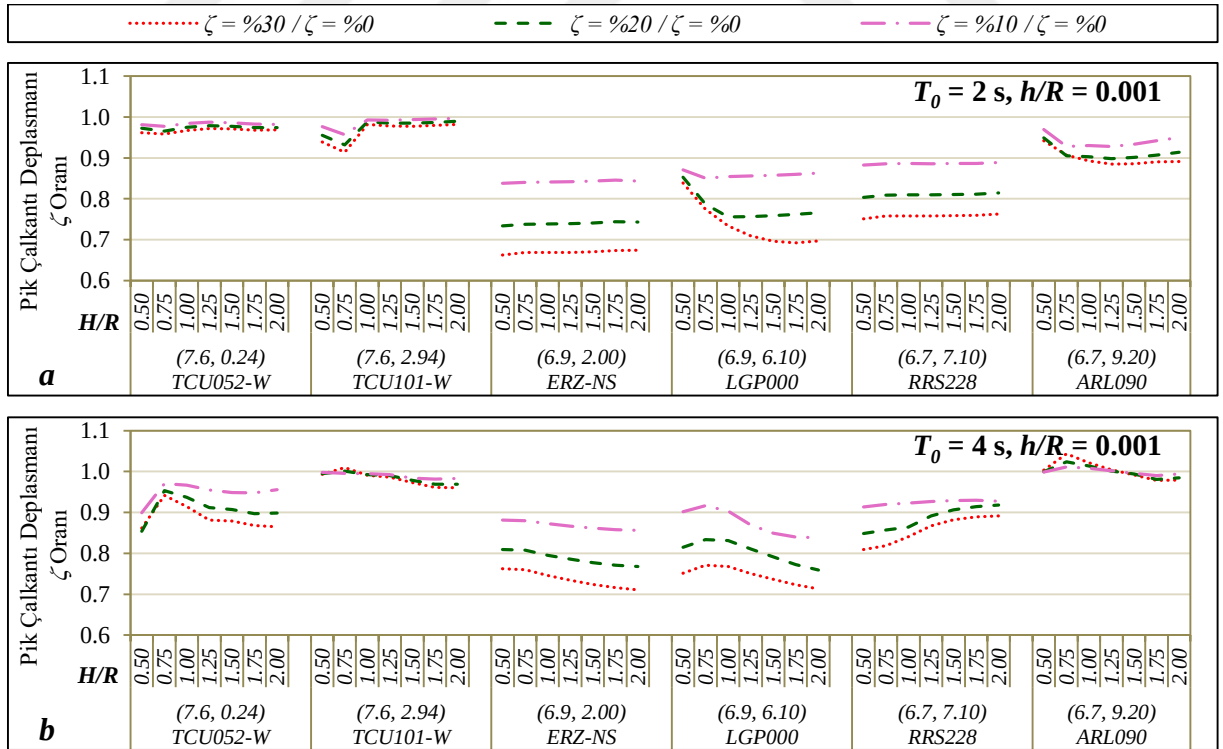
Şekil Ek 7.4: $h/R = 0.001$ durumunda $T_0 = 2$ s izolasyon periyodu için elde edilen pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtlarının $T_0 = 4$ s izolasyon periyodu için elde edilenlere oranı.



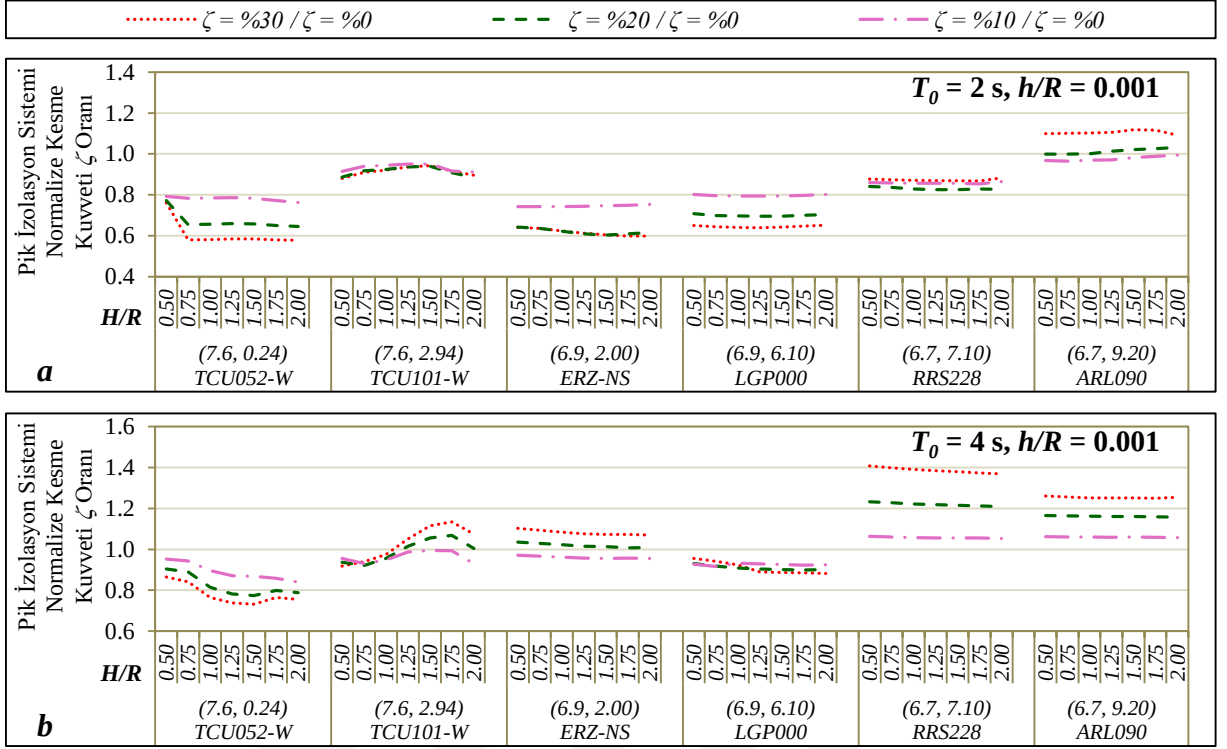
Şekil Ek 7.5: $h/R = 0.001$ durumunda $T_0 = 2$ s izolasyon periyodu için elde edilen pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtlarının $T_0 = 4$ s izolasyon periyodu için elde edilenlere oranı.



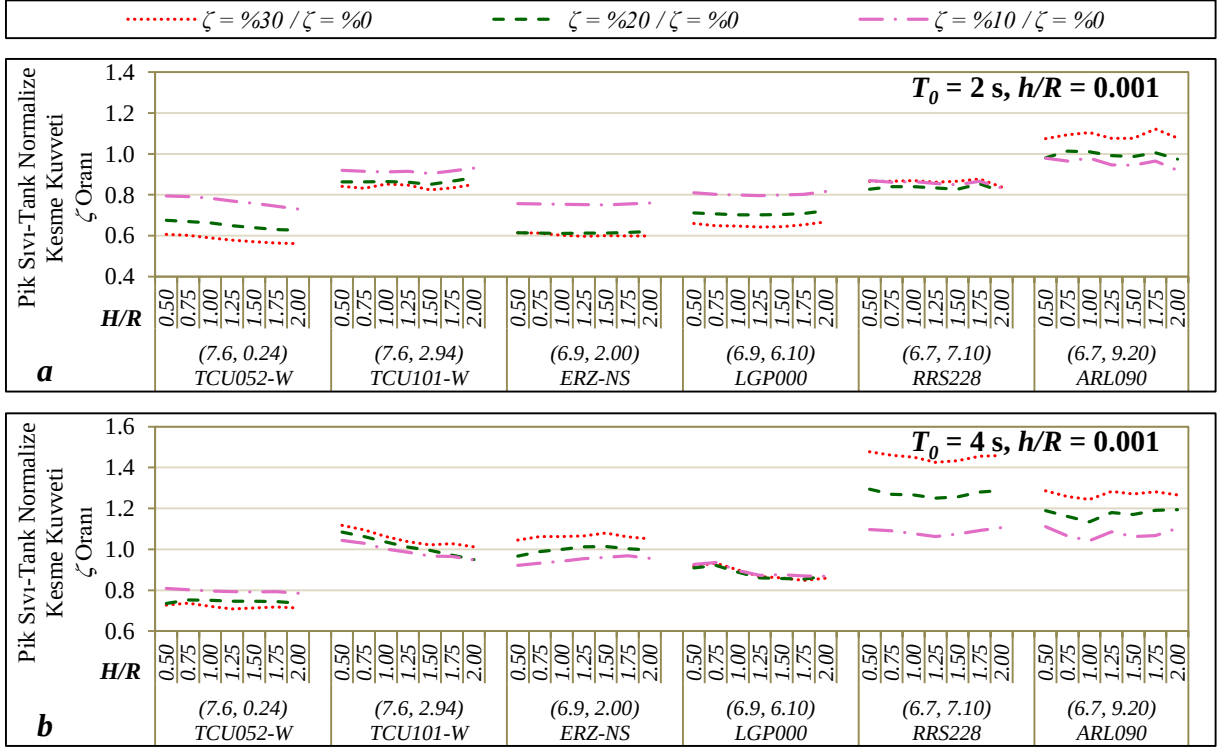
Şekil Ek 7.6: Farklı ζ oranları için elde edilen pik taban deplasmanı yanıtlarının $\zeta = \%0$ durumuna oranları.



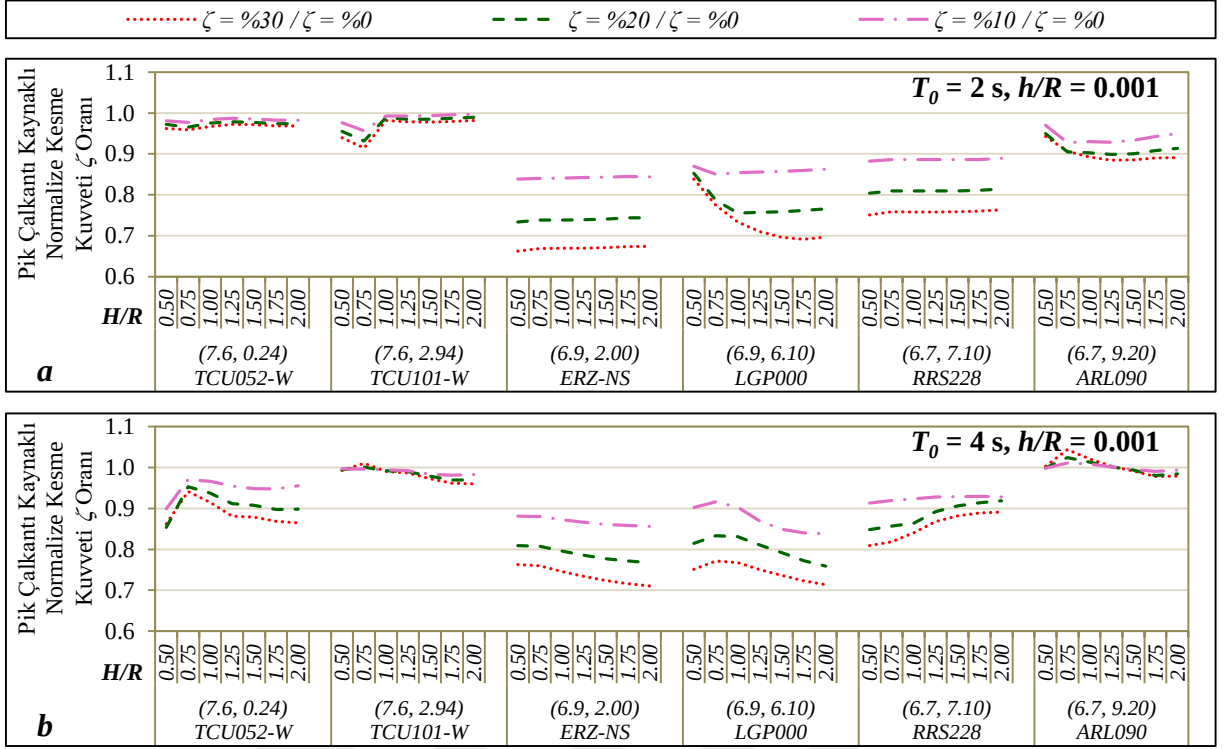
Şekil Ek 7.7: Farklı ζ oranları için elde edilen pik çalkantı deplasmanı yanıtlarının $\zeta = \%0$ durumuna oranları.



Şekil Ek 7.8: Farklı ζ oranları için elde edilen pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti yanıtlarının $\zeta = \%0$ durumuna oranları.

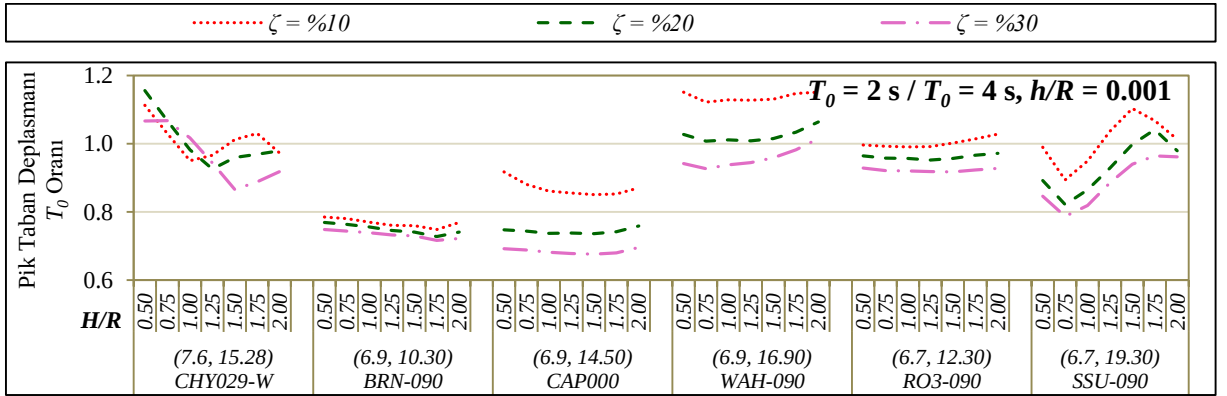


Şekil Ek 7.9: Farklı ζ oranları için elde edilen pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtlarının $\zeta = \%0$ durumuna oranları.

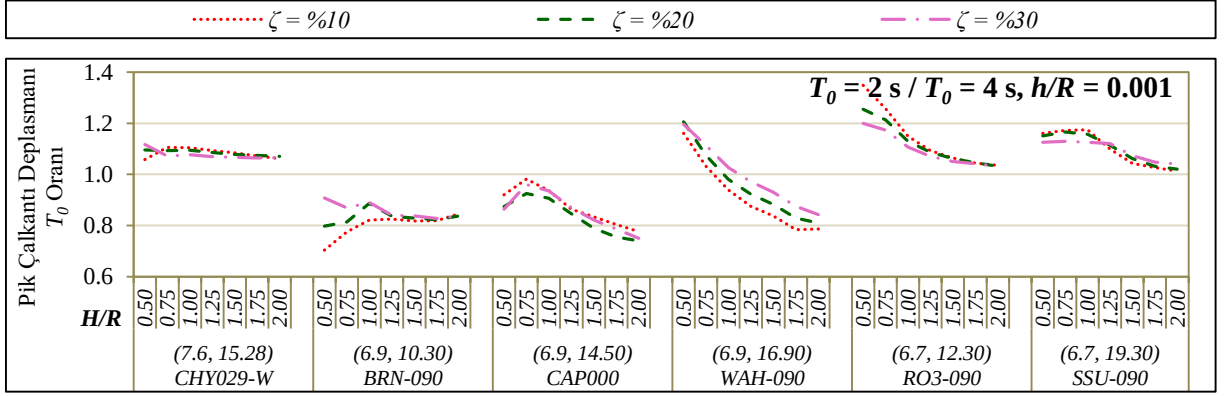


Şekil Ek 7.10: Farklı ζ oranları için elde edilen pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtlarının $\zeta = \%0$ durumuna oranları.

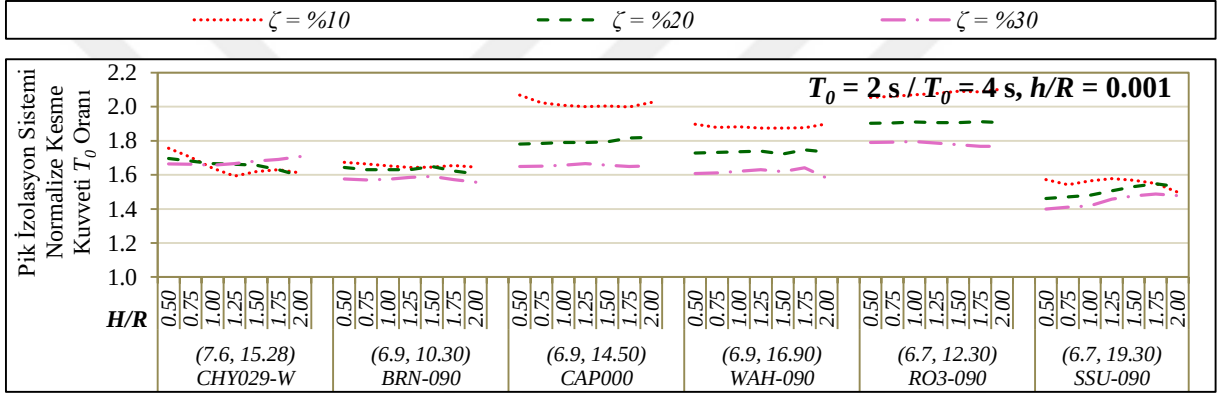
EK 8. İlave viskoz sönümleyici kullanılan taban izolasyonlu sıvı depolama tanklarının tarihi uzak fay deprem kayıtları altında elde edilen sismik analiz sonuçları.



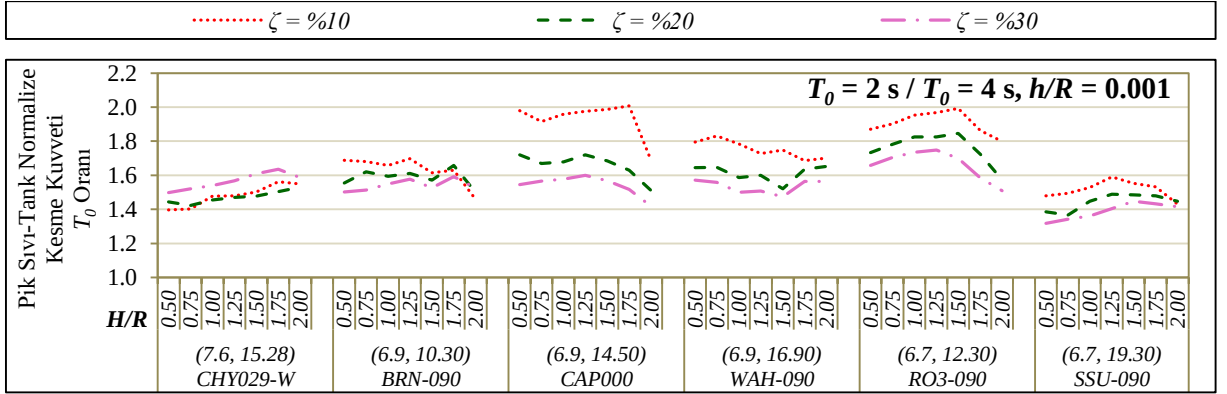
Şekil Ek 8.1: $h/R = 0.001$ durumunda $T_0 = 2$ s izolasyon periyodu için elde edilen pik taban deplasmanı yanıtlarının $T_0 = 4$ s izolasyon periyodu için elde edilenlere oranı.



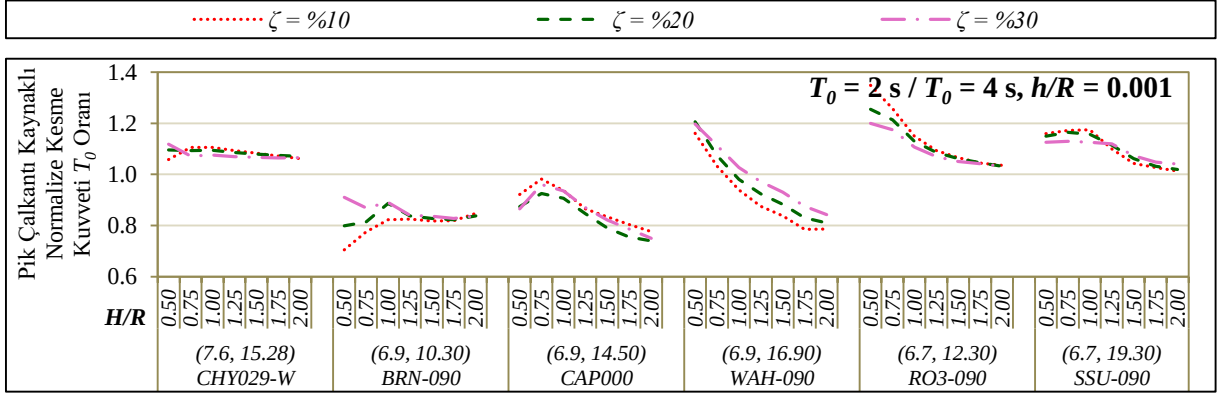
Şekil Ek 8.2: $h/R = 0.001$ durumunda $T_0 = 2$ s izolasyon periyodu için elde edilen pik çalkantı deplasmanı yanıtlarının $T_0 = 4$ s izolasyon periyodu için elde edilenlere oranı.



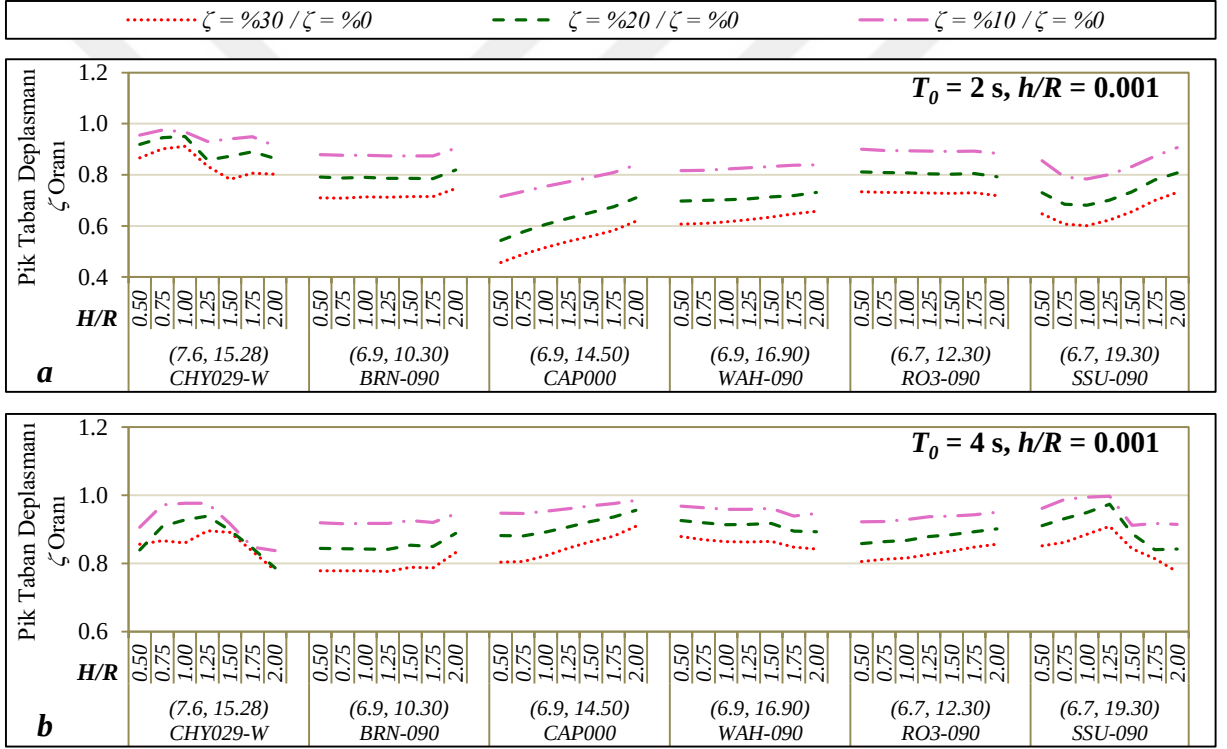
Şekil Ek 8.3: $h/R = 0.001$ durumunda $T_0 = 2$ s izolasyon periyodu için elde edilen pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti yanıtlarının $T_0 = 4$ s izolasyon periyodu için elde edilenlere oranı.



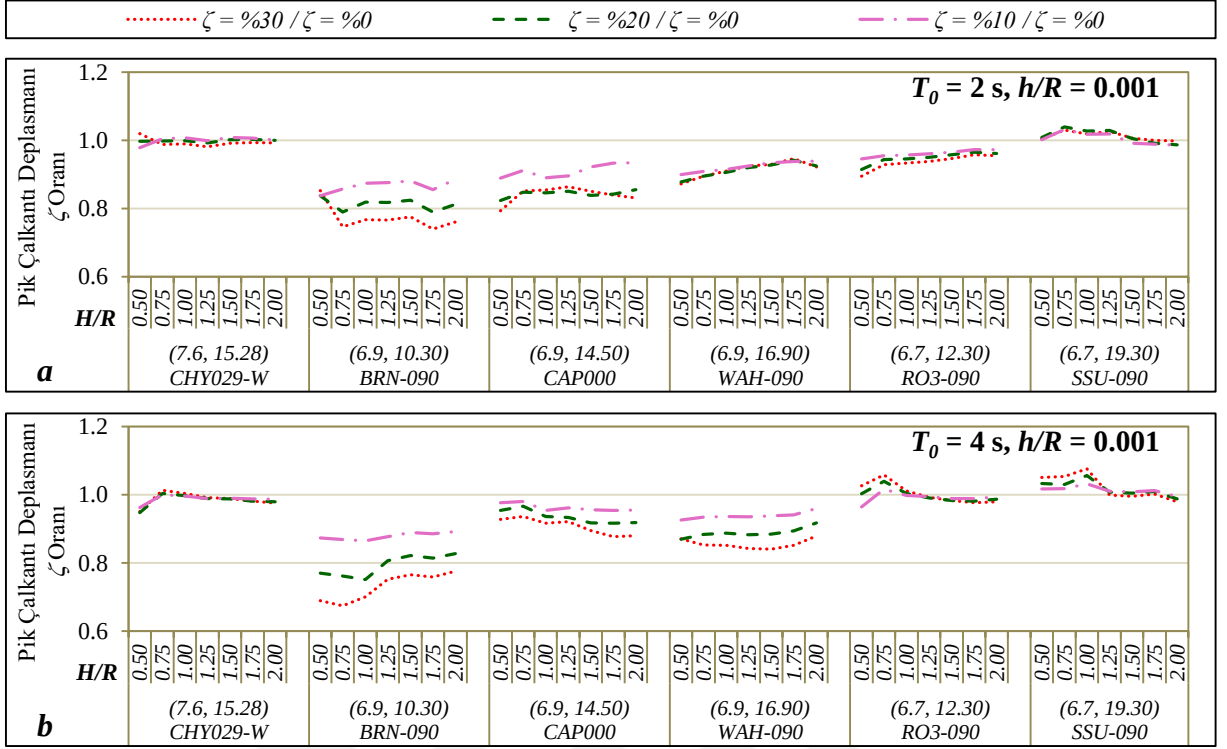
Şekil Ek 8.4: $h/R = 0.001$ durumunda $T_0 = 2$ s izolasyon periyodu için elde edilen pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtlarının $T_0 = 4$ s izolasyon periyodu için elde edilenlere oranı.



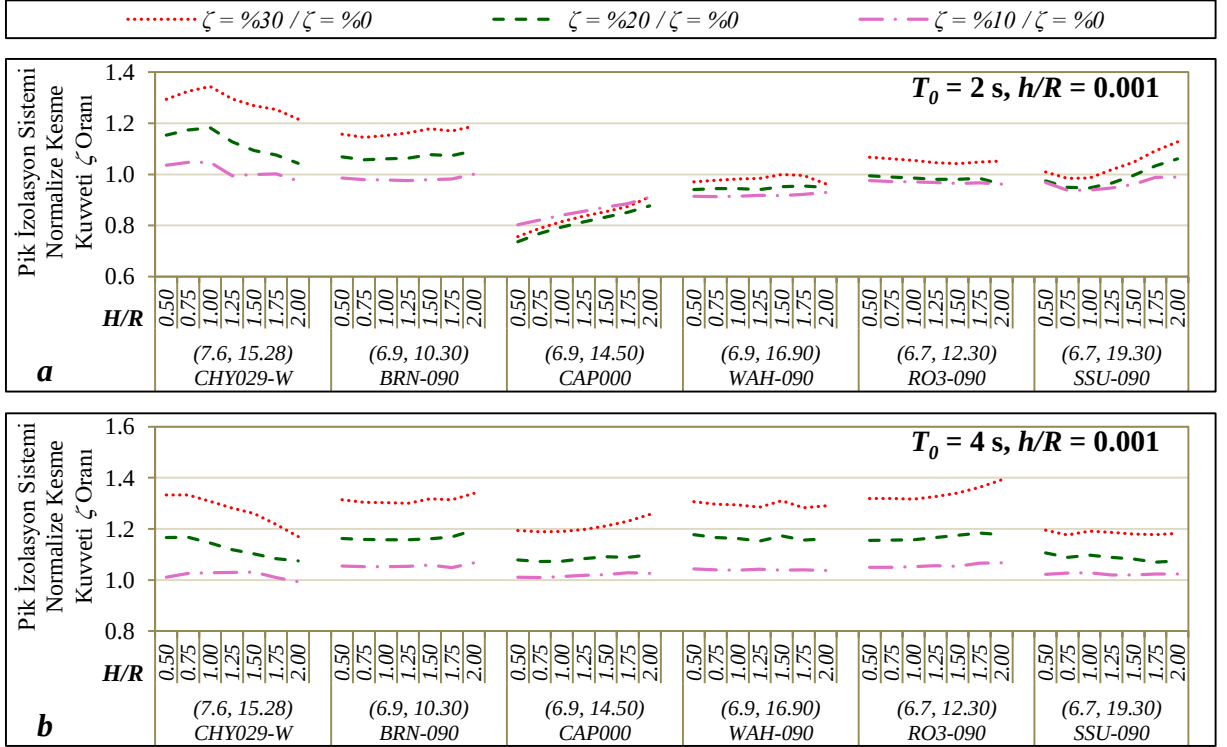
Şekil Ek 8.5: $h/R = 0.001$ durumunda $T_0 = 2$ s izolasyon periyodu için elde edilen pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtlarının $T_0 = 4$ s izolasyon periyodu için elde edilenlere oranı.



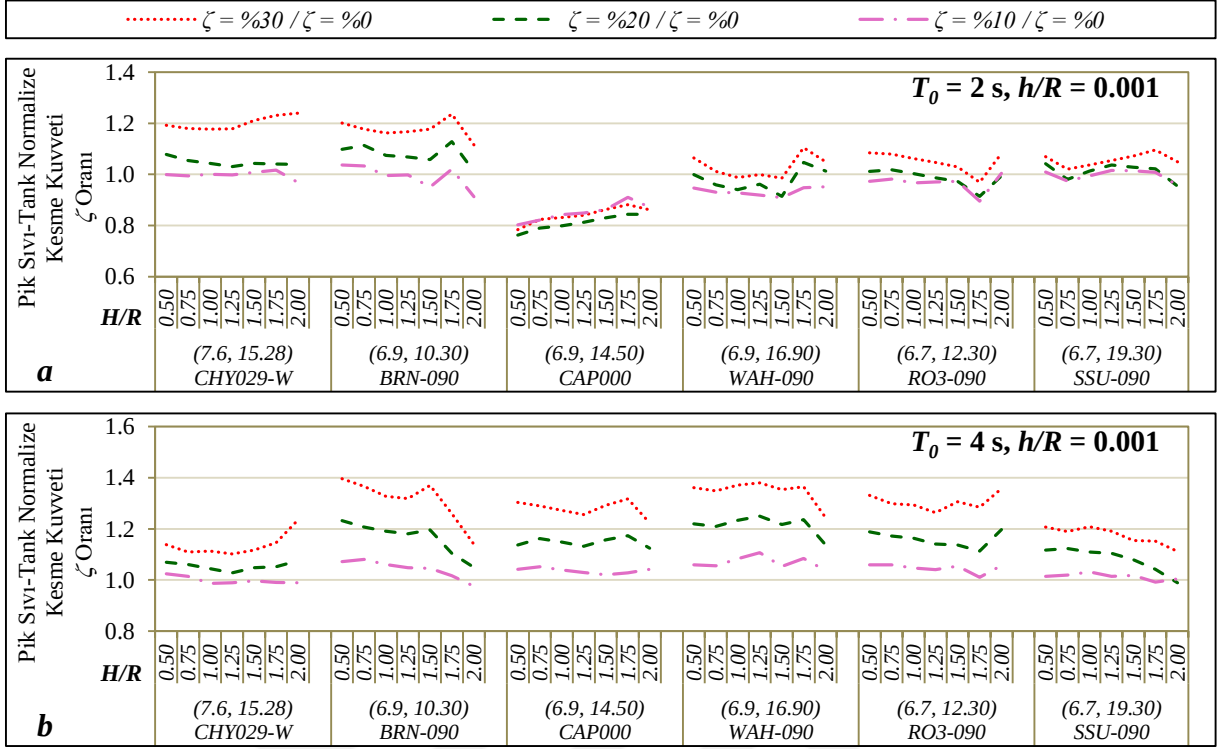
Şekil Ek 8.6: Farklı ζ oranları için elde edilen pik taban deplasmanı yanıtlarının $\zeta = \%0$ durumuna oranları.



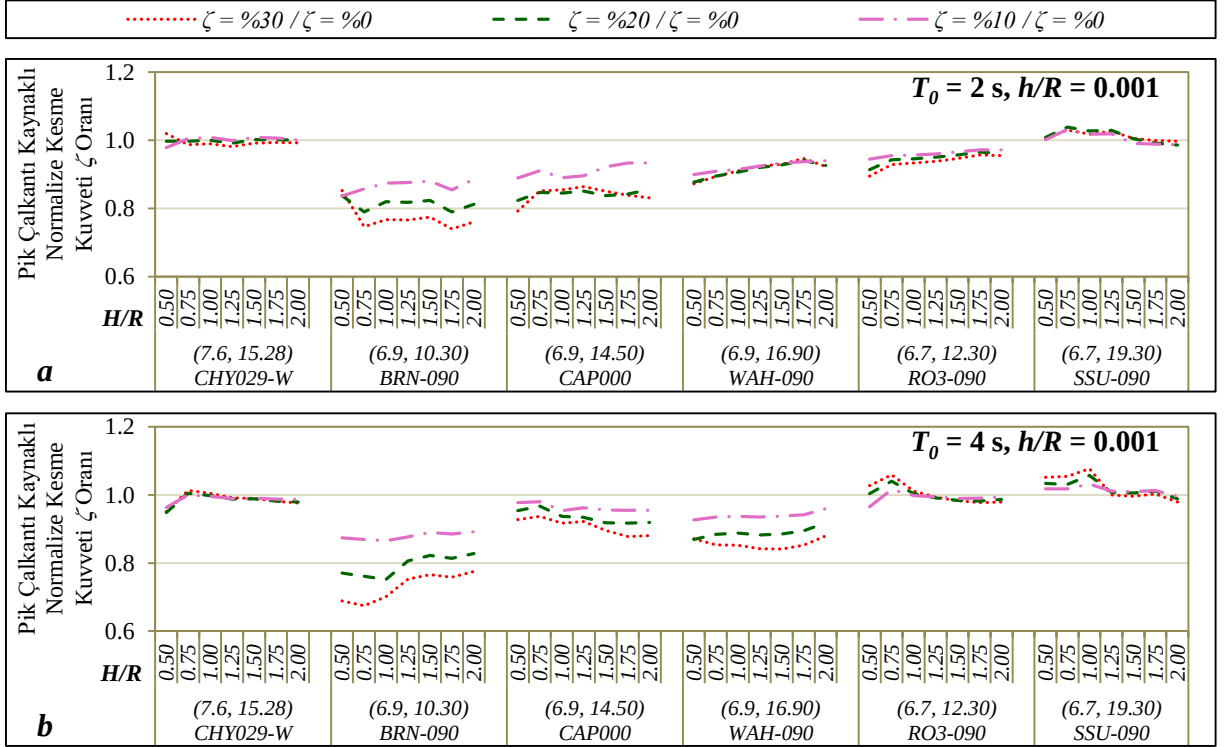
Şekil Ek 8.7: Farklı ζ oranları için elde edilen pik çalkantı deplasmanı yanıtlarının $\zeta = \%0$ durumuna oranları.



Şekil Ek 8.8: Farklı ζ oranları için elde edilen pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti yanıtlarının $\zeta = \%0$ durumuna oranları.

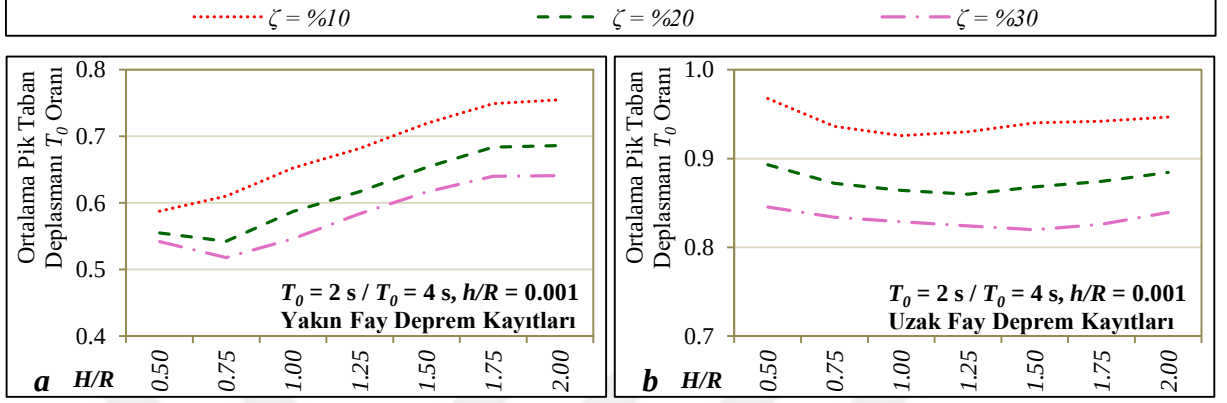


Şekil Ek 8.9: Farklı ζ oranları için elde edilen pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtlarının $\zeta = \%0$ durumuna oranları.

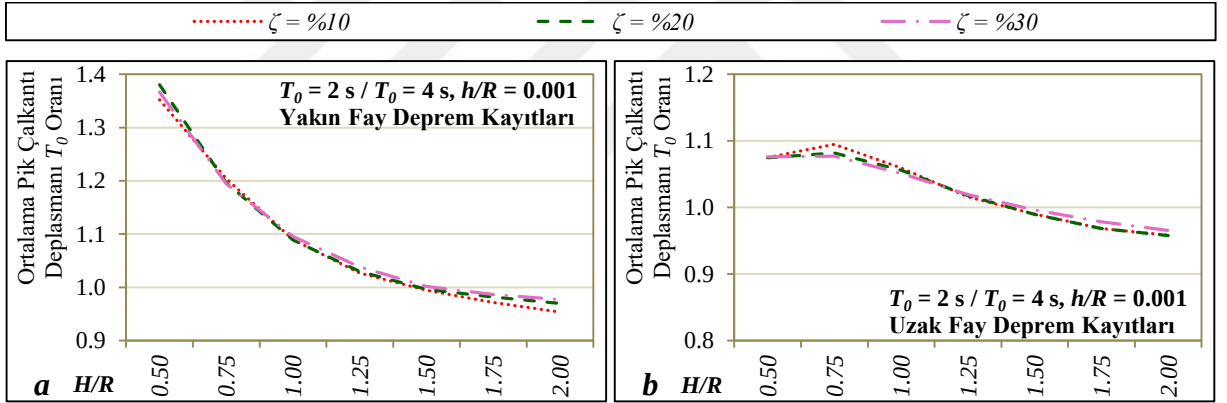


Şekil Ek 8.10: Farklı ζ oranları için elde edilen pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtlarının $\zeta = \%0$ durumuna oranları.

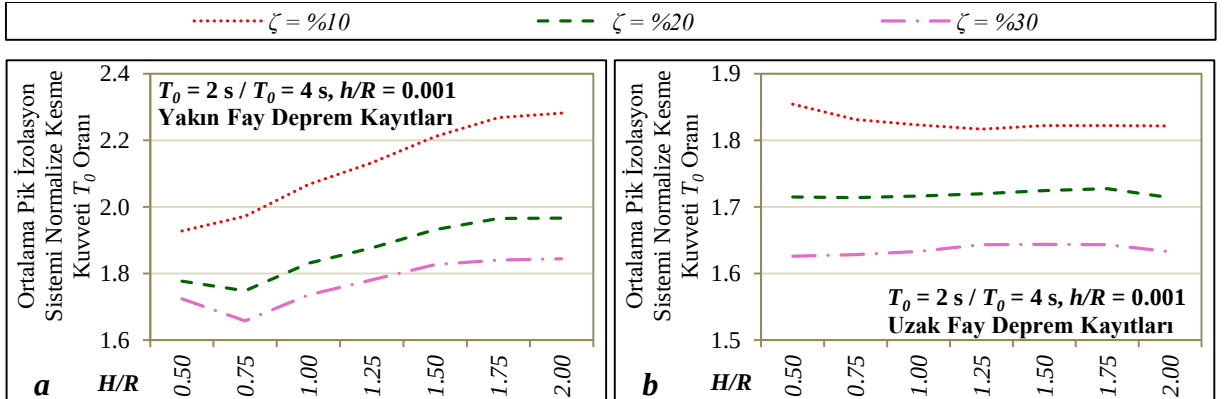
EK 9. İlave viskoz sönümleyici kullanılan taban izolasyonlu sıvı depolama tanklarının tarihi yakın fay ve uzak fay deprem kayıtları altında elde edilen sismik analiz sonuçlarının ortalama değerler üzerinden karşılaştırılması.



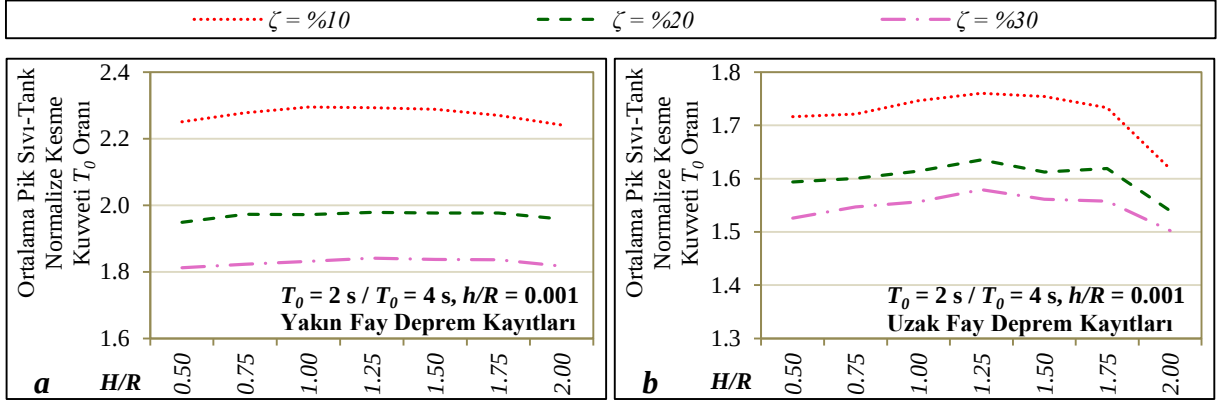
Şekil Ek 9.1: $T_0 = 2 \text{ s}$ izolasyon periyodu için elde edilen ortalama pik taban deplasmanı yanıtlarının $T_0 = 4 \text{ s}$ izolasyon periyodu için elde edilenlere oranı.



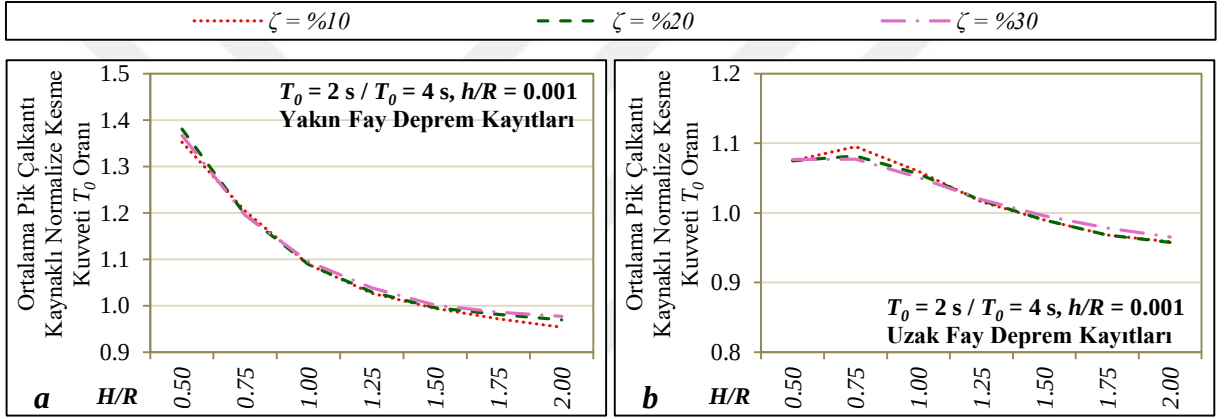
Şekil Ek 9.2: $T_0 = 2 \text{ s}$ izolasyon periyodu için elde edilen ortalama pik çalkantı deplasmanı yanıtlarının $T_0 = 4 \text{ s}$ izolasyon periyodu için elde edilenlere oranı.



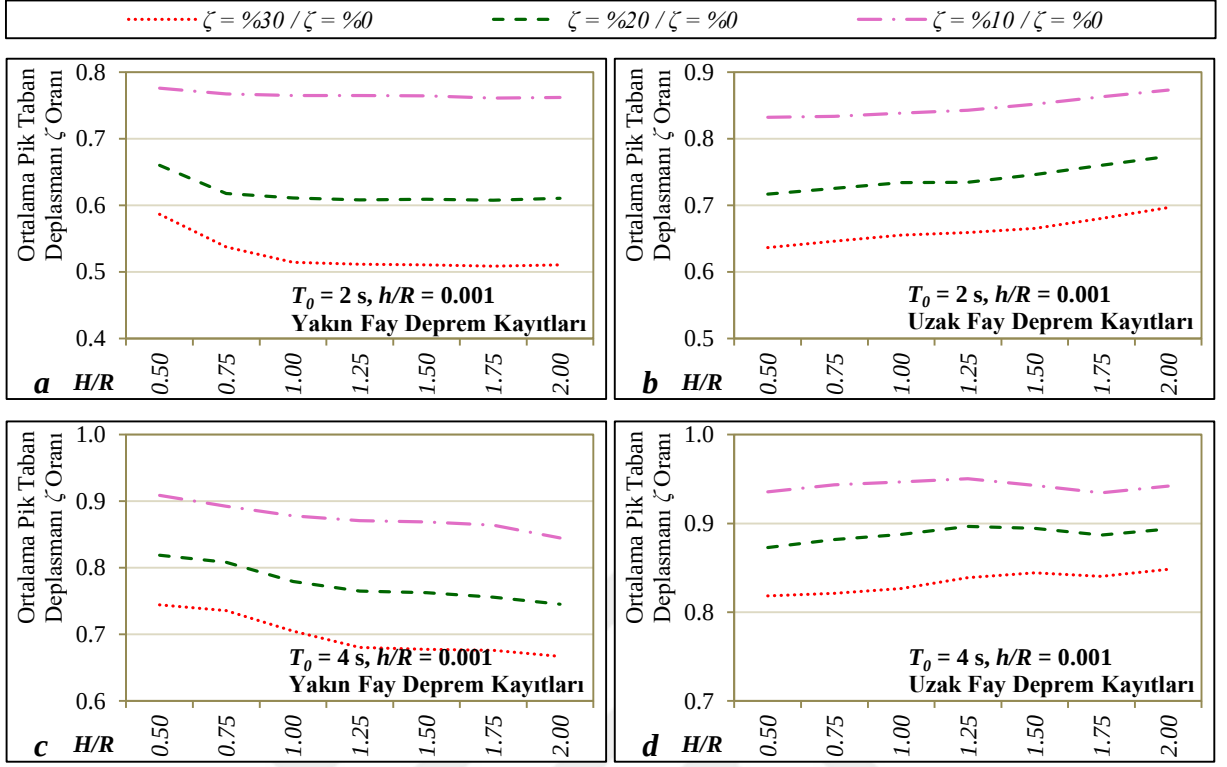
Şekil Ek 9.3: $T_0 = 2 \text{ s}$ izolasyon periyodu için elde edilen ortalama pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti yanıtlarının $T_0 = 4 \text{ s}$ izolasyon periyodu için elde edilenlere oranı.



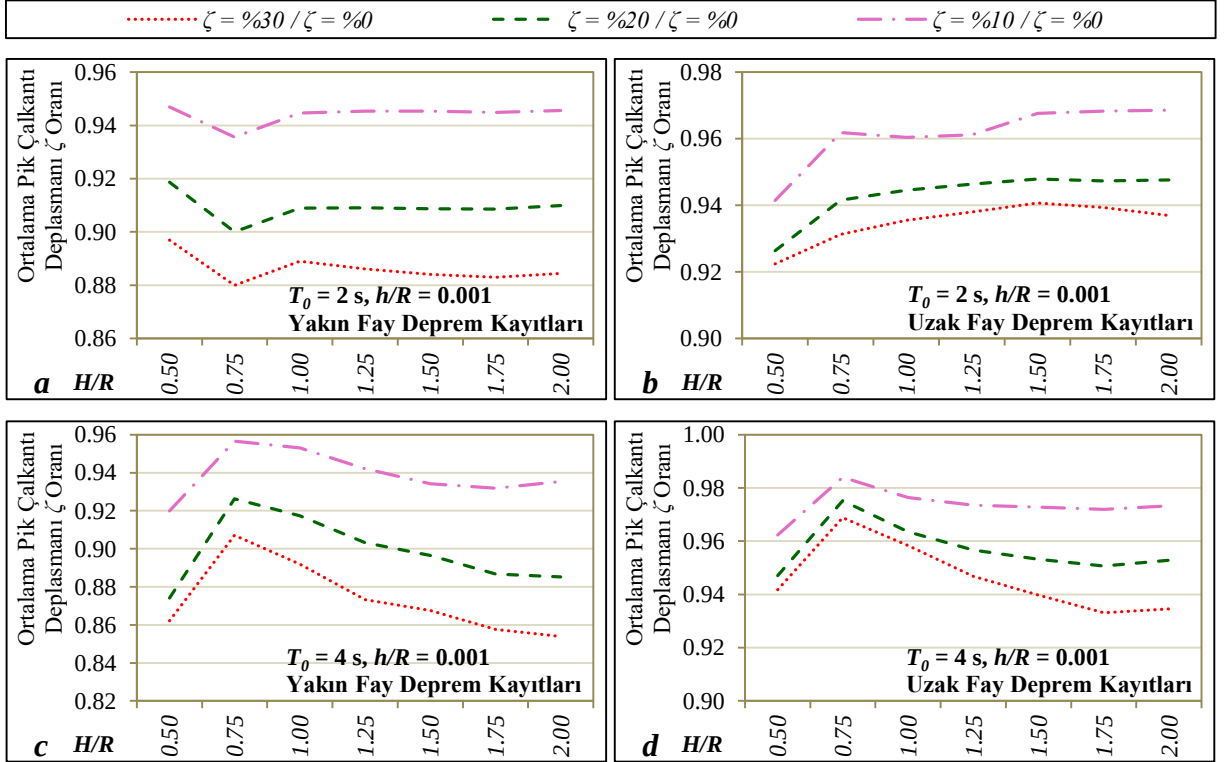
Şekil Ek 9.4: $T_0 = 2 \text{ s}$ izolasyon periyodu için elde edilen ortalama pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtlarının $T_0 = 4 \text{ s}$ izolasyon periyodu için elde edilenlere oranı.



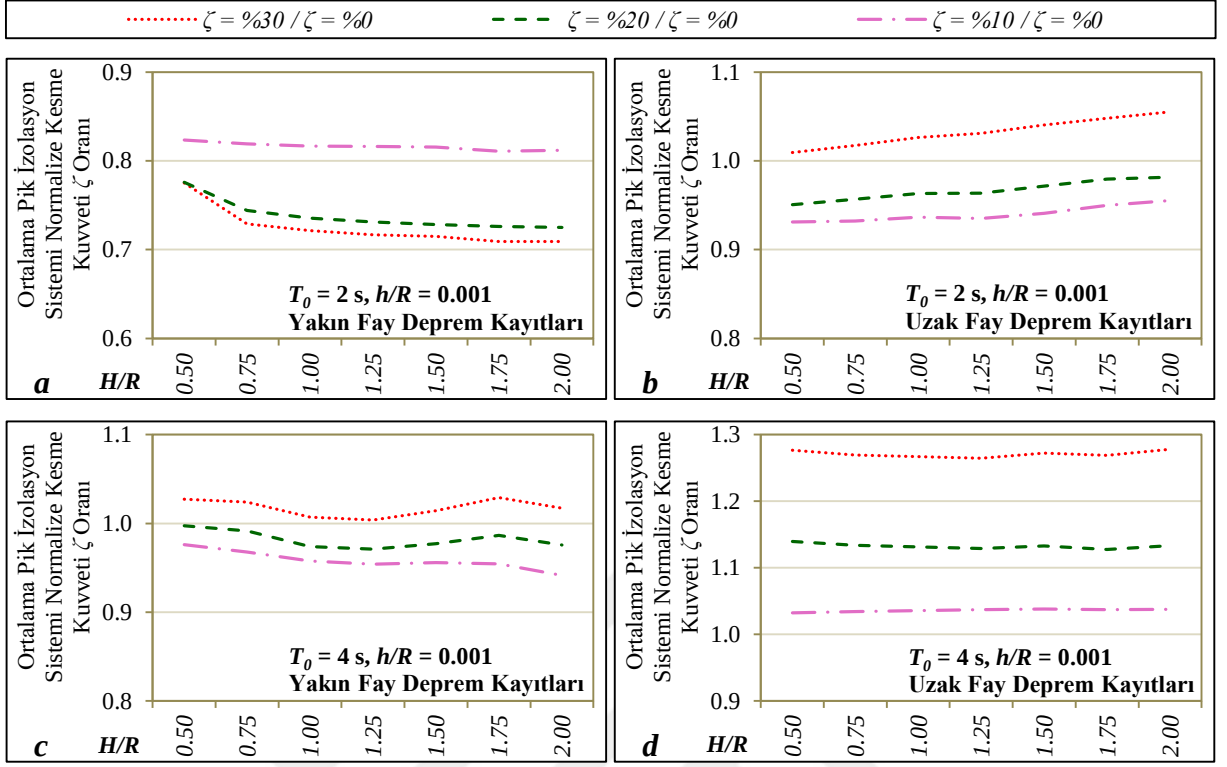
Şekil Ek 9.5: $T_0 = 2 \text{ s}$ izolasyon periyodu için elde edilen ortalama pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtlarının $T_0 = 4 \text{ s}$ izolasyon periyodu için elde edilenlere oranı.



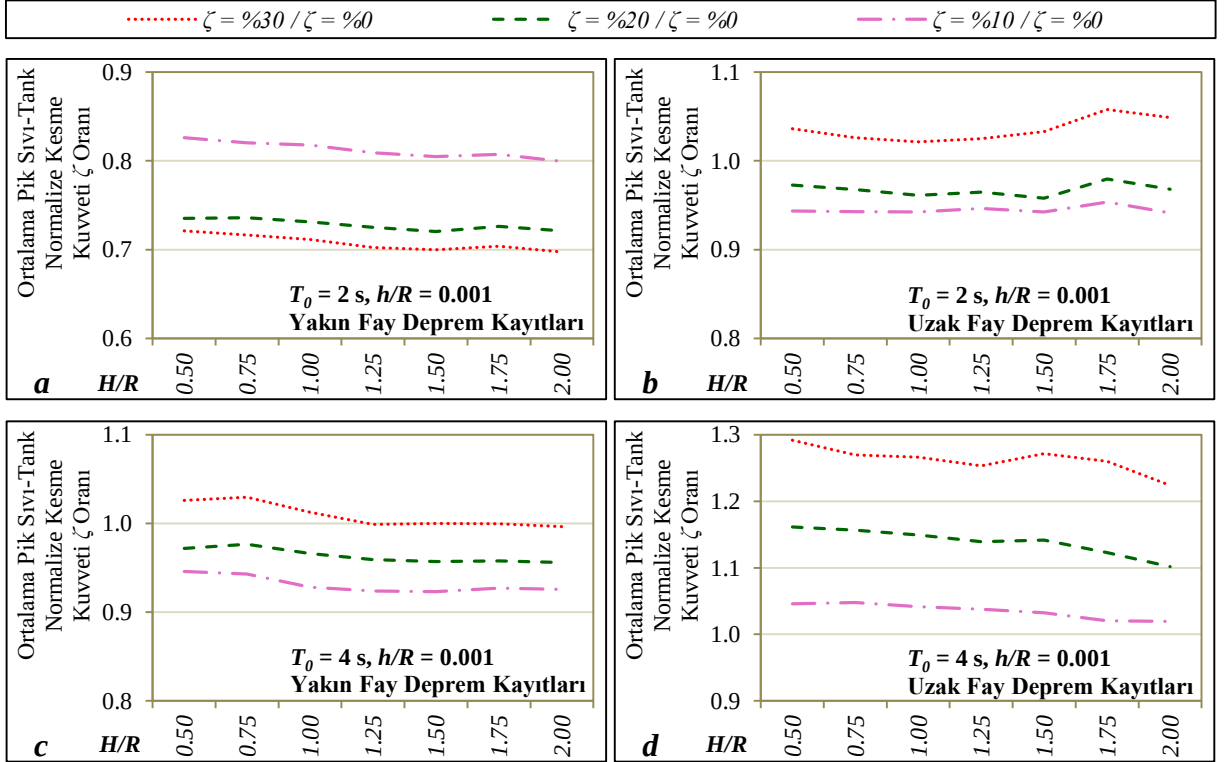
Şekil Ek 9.6: Farklı ζ oranları için elde edilen ortalama pik taban deplasmanı yanıtlarının $\zeta = \%0$ durumuna oranları.



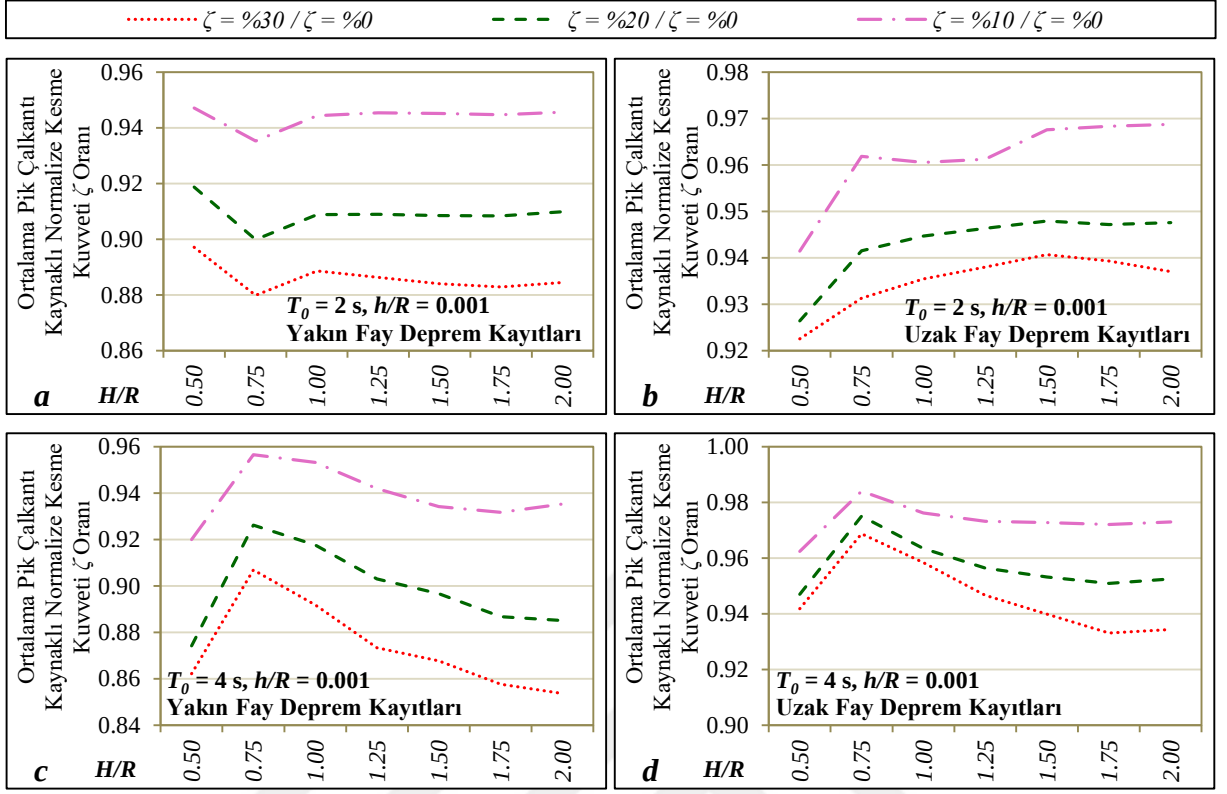
Şekil Ek 9.7: Farklı ζ oranları için elde edilen ortalama pik çalkantı deplasmanı yanıtlarının $\zeta = \%0$ durumuna oranları.



Şekil Ek 9.8: Farklı ζ oranları için elde edilen ortalama pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti yanıtlarının $\zeta = \%0$ durumuna oranları.

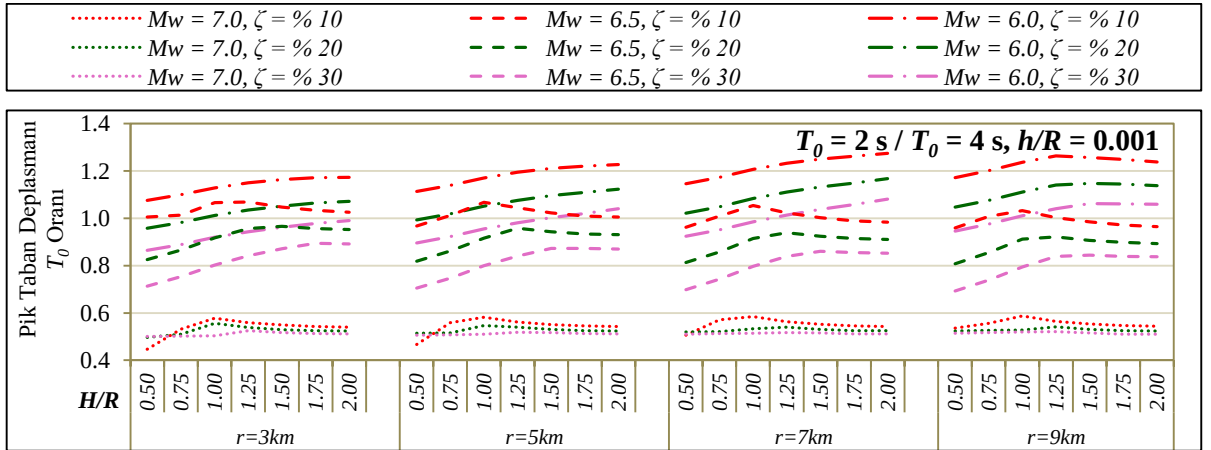


Şekil Ek 9.9: Farklı ζ oranları için elde edilen ortalama pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtlarının $\zeta = \%0$ durumuna oranları.

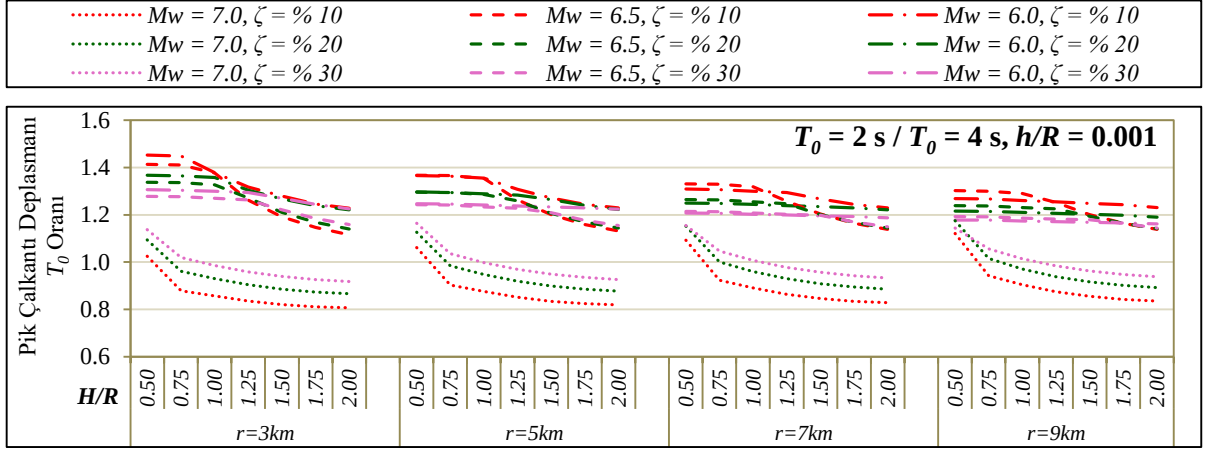


Şekil Ek 9.10: Farklı ζ oranları için elde edilen ortalama pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtlarının $\zeta = \%0$ durumuna oranları.

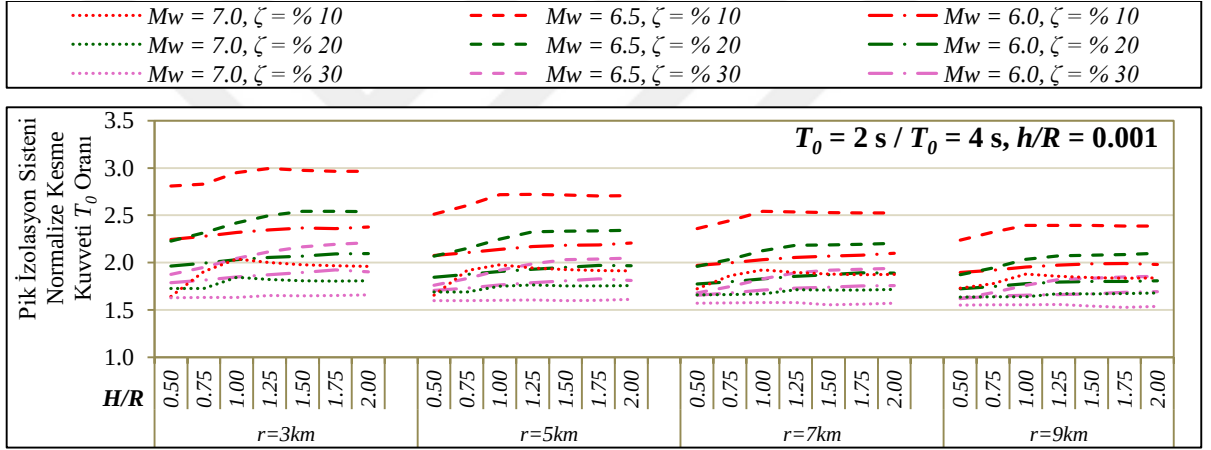
EK 10. İlave viskoz sönümleyici kullanılan taban izolasyonlu sıvı depolama tanklarının sentetik yakın fay deprem kayıtları altında elde edilen sismik analiz sonuçları.



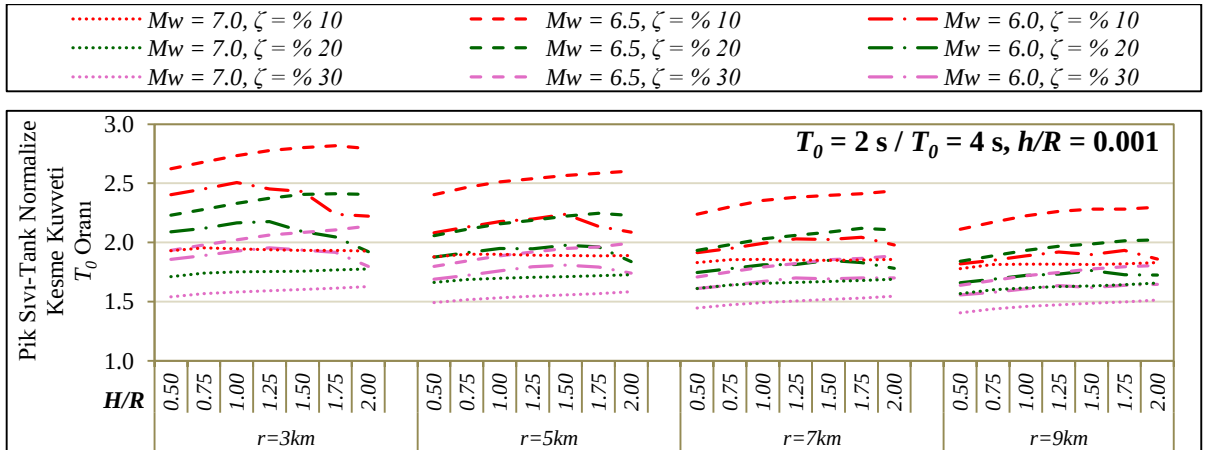
Şekil Ek 10.1: $h/R = 0.001$ durumunda $T_0 = 2$ s izolasyon periyodu için elde edilen pik taban deplasmanı yanıtlarının $T_0 = 4$ s izolasyon periyodu için elde edilenlere oranı.



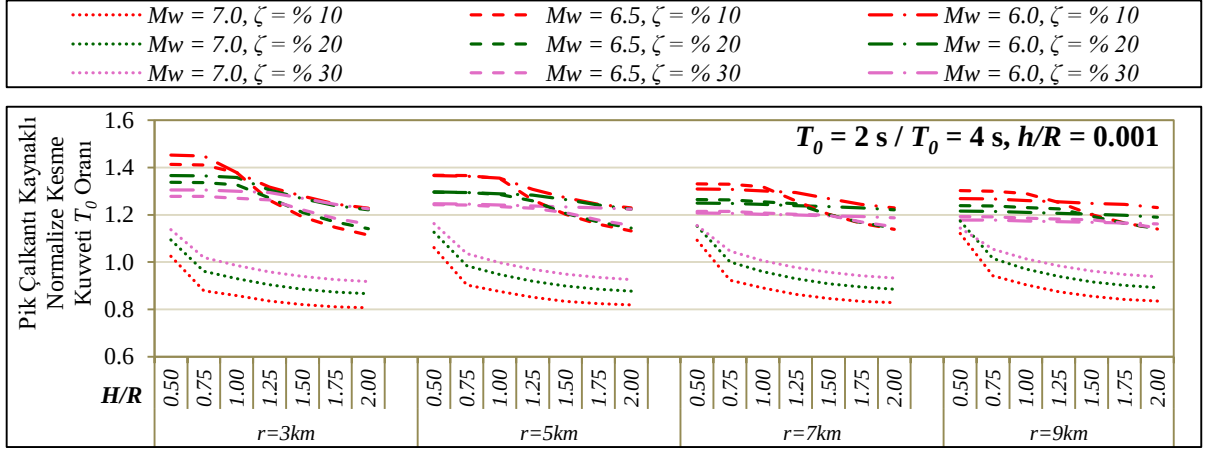
Şekil Ek 10.2: $h/R = 0.001$ durumunda $T_0 = 2 \text{ s}$ izolasyon periyodu için elde edilen pik çalkantı deplasmanı yanıtlarının $T_0 = 4 \text{ s}$ izolasyon periyodu için elde edilenlere oranı.



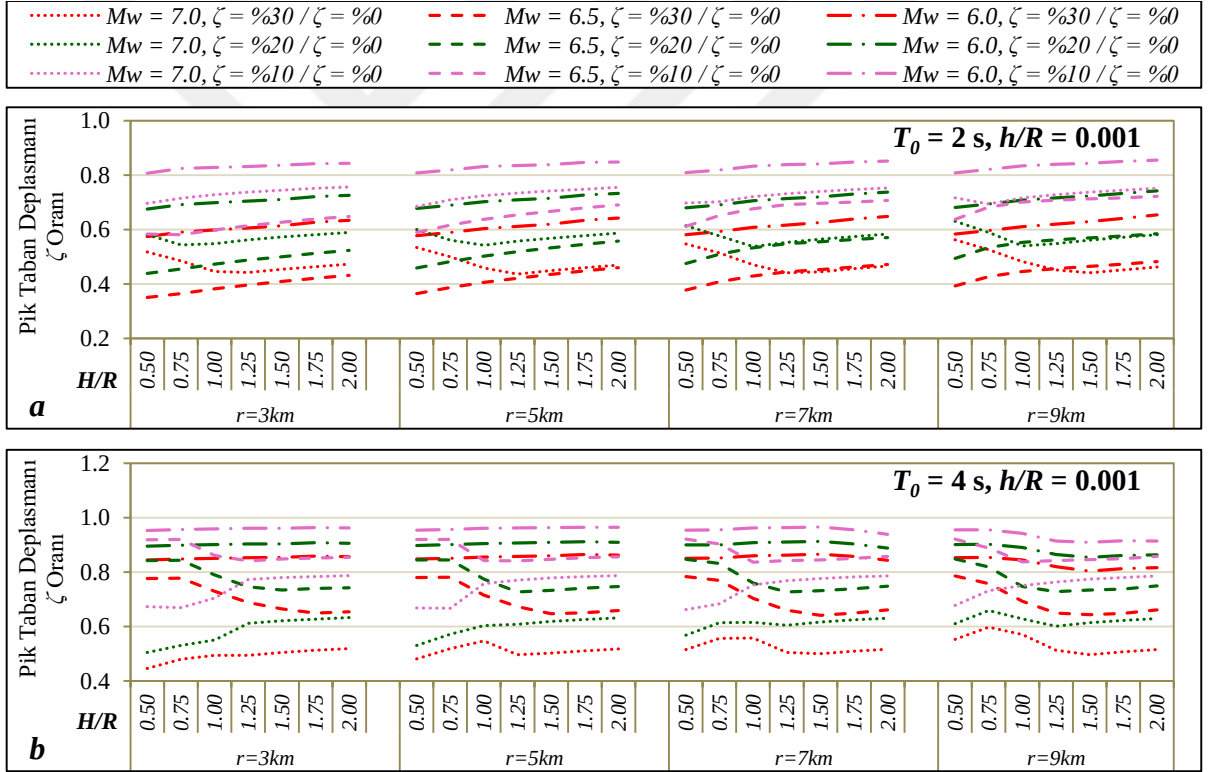
Şekil Ek 10.3: $h/R = 0.001$ durumunda $T_0 = 2 \text{ s}$ izolasyon periyodu için elde edilen pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti yanıtlarının $T_0 = 4 \text{ s}$ izolasyon periyodu için elde edilenlere oranı.



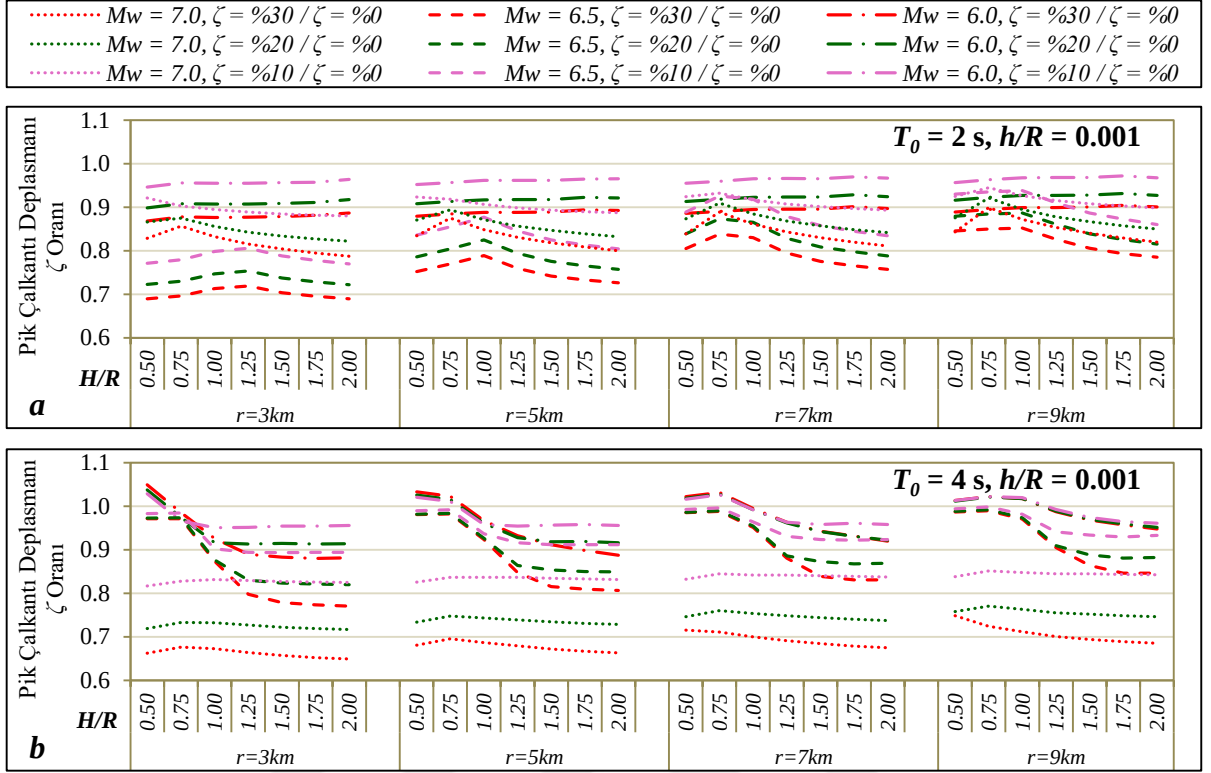
Şekil Ek 10.4: $h/R = 0.001$ durumunda $T_0 = 2 \text{ s}$ izolasyon periyodu için elde edilen pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtlarının $T_0 = 4 \text{ s}$ izolasyon periyodu için elde edilenlere oranı.



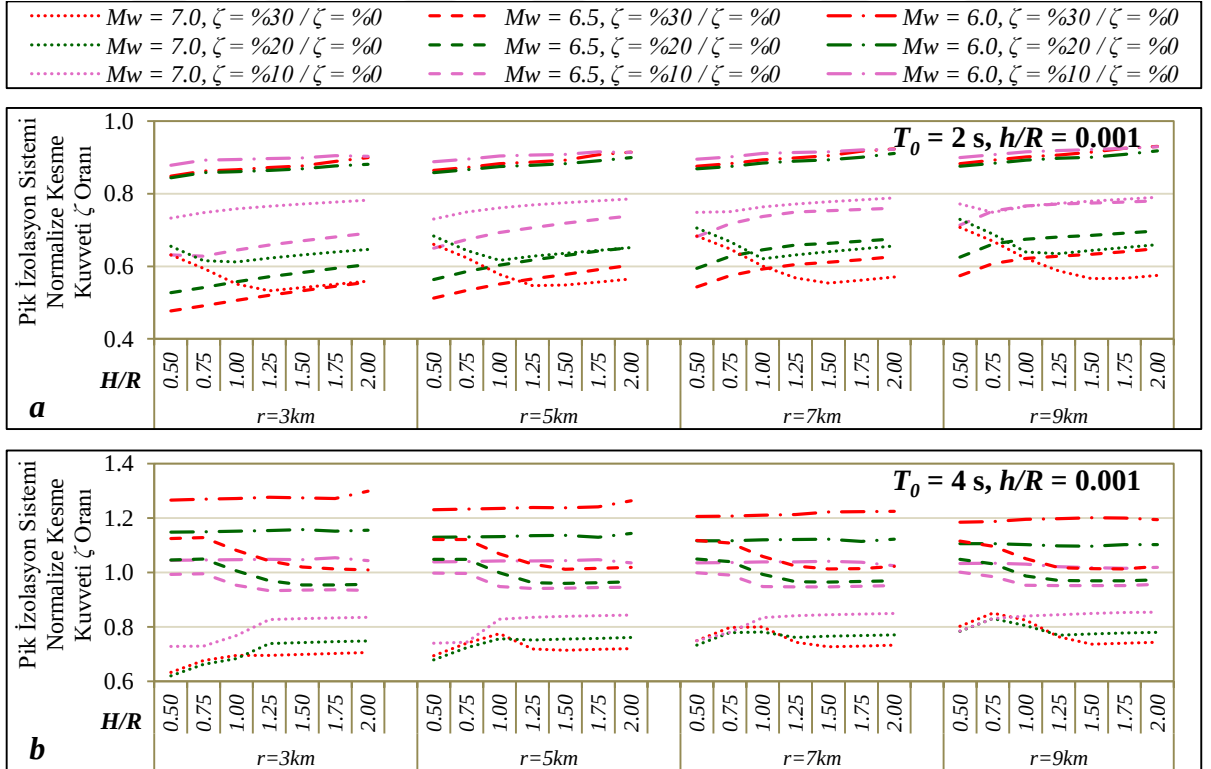
Şekil Ek 10.5: $h/R = 0.001$ durumunda $T_0 = 2$ s izolasyon periyodu için elde edilen pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtlarının $T_0 = 4$ s izolasyon periyodu için elde edilenlere oranı.



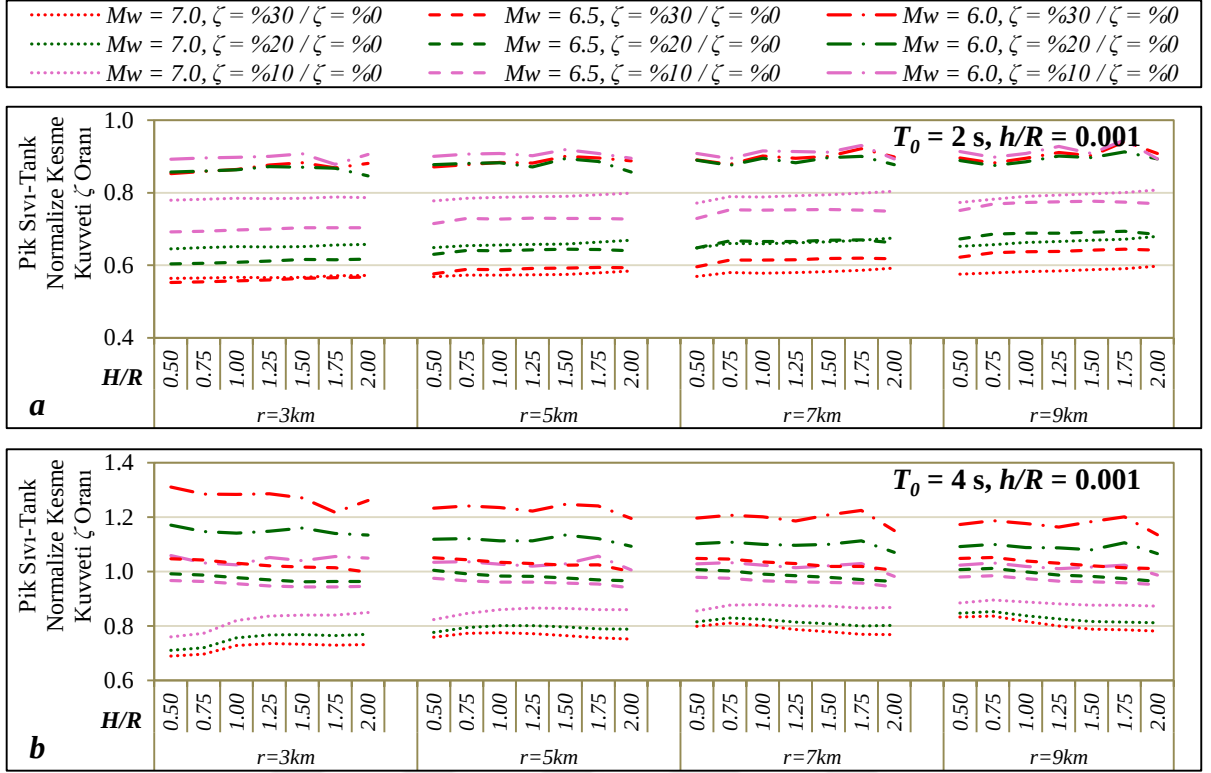
Şekil Ek 10.6: Farklı ζ oranları için elde edilen pik taban deplasmanı yanıtlarının $\zeta = 10\%$ durumuna oranları.



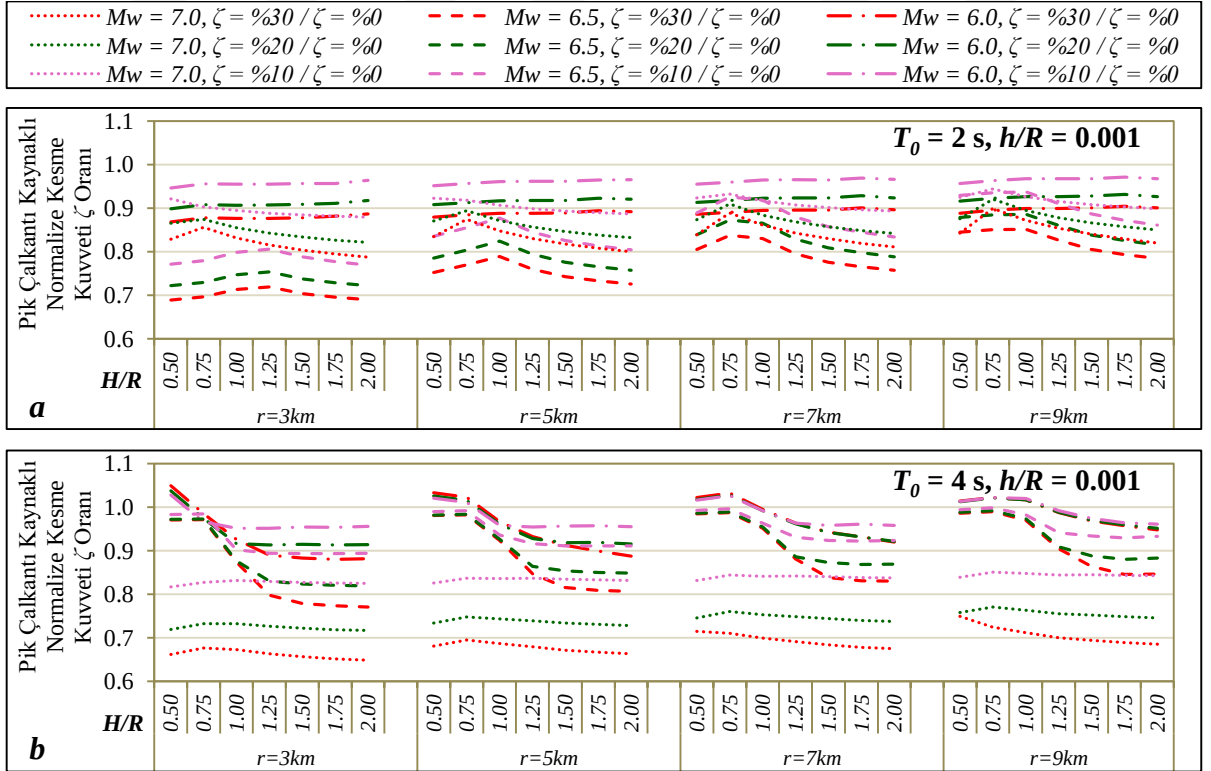
Şekil Ek 10.7: Farklı ζ oranları için elde edilen pik çalkantı deplasmanı yanıtlarının $\zeta = \%0$ durumuna oranları.



Şekil Ek 10.8: Farklı ζ oranları için elde edilen pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti yanıtlarının $\zeta = \%0$ durumuna oranları.

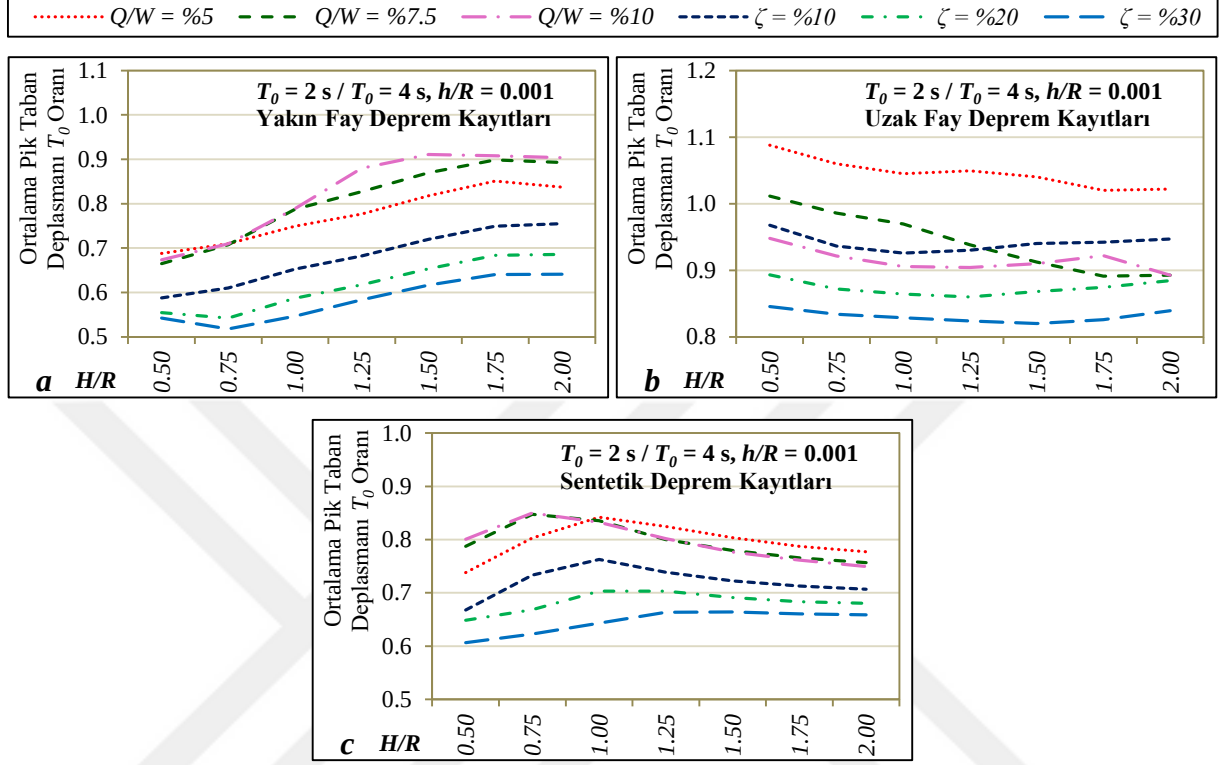


Şekil Ek 10.9: Farklı ζ oranları için elde edilen pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtlarının $\zeta = \%0$ durumuna oranları.

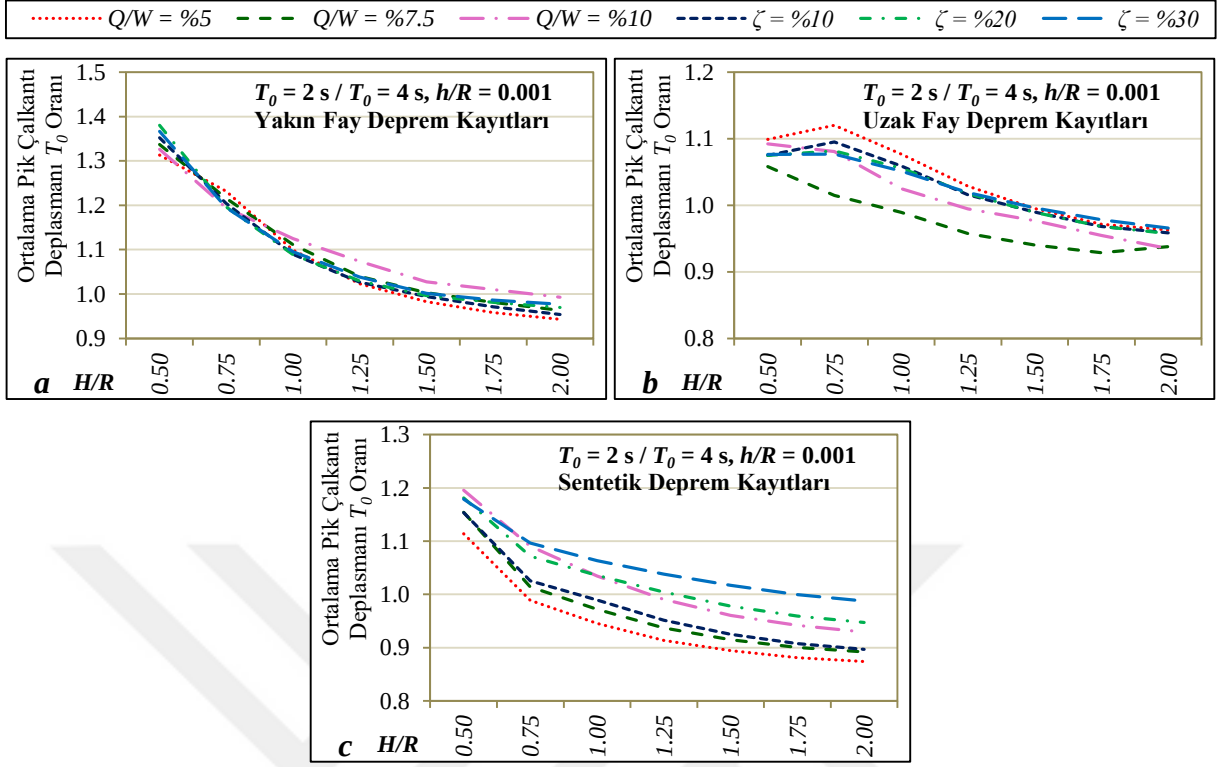


Şekil Ek 10.10: Farklı ζ oranları için elde edilen pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtlarının $\zeta = \%0$ durumuna oranları.

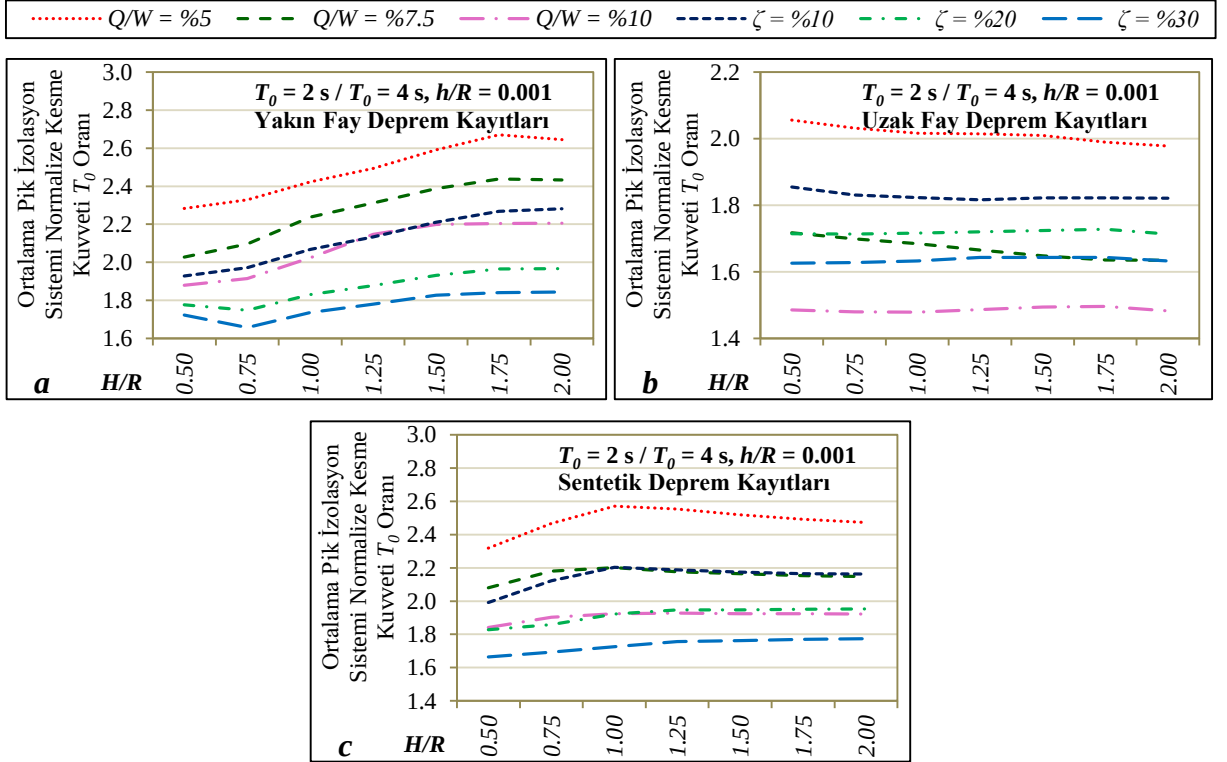
EK 11. İlave viskoz sönümleyici kullanılmayan ve kullanılan durumların ortalama yanıtlar üzerinden karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi.



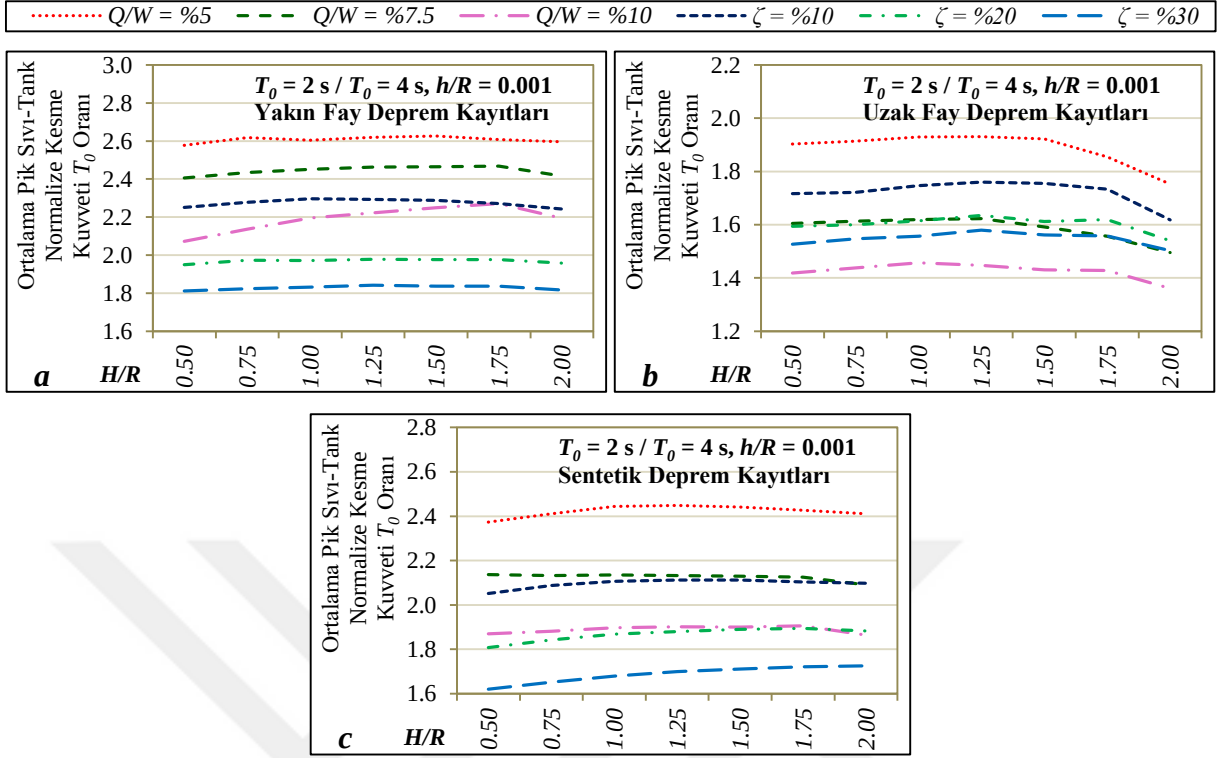
Şekil Ek 11.1: $T_0 = 2 \text{ s}$ izolasyon periyodu için elde edilen ortalama pik taban deplasmanı yanıtlarının $T_0 = 4 \text{ s}$ izolasyon periyodu için elde edilenlere oranı.



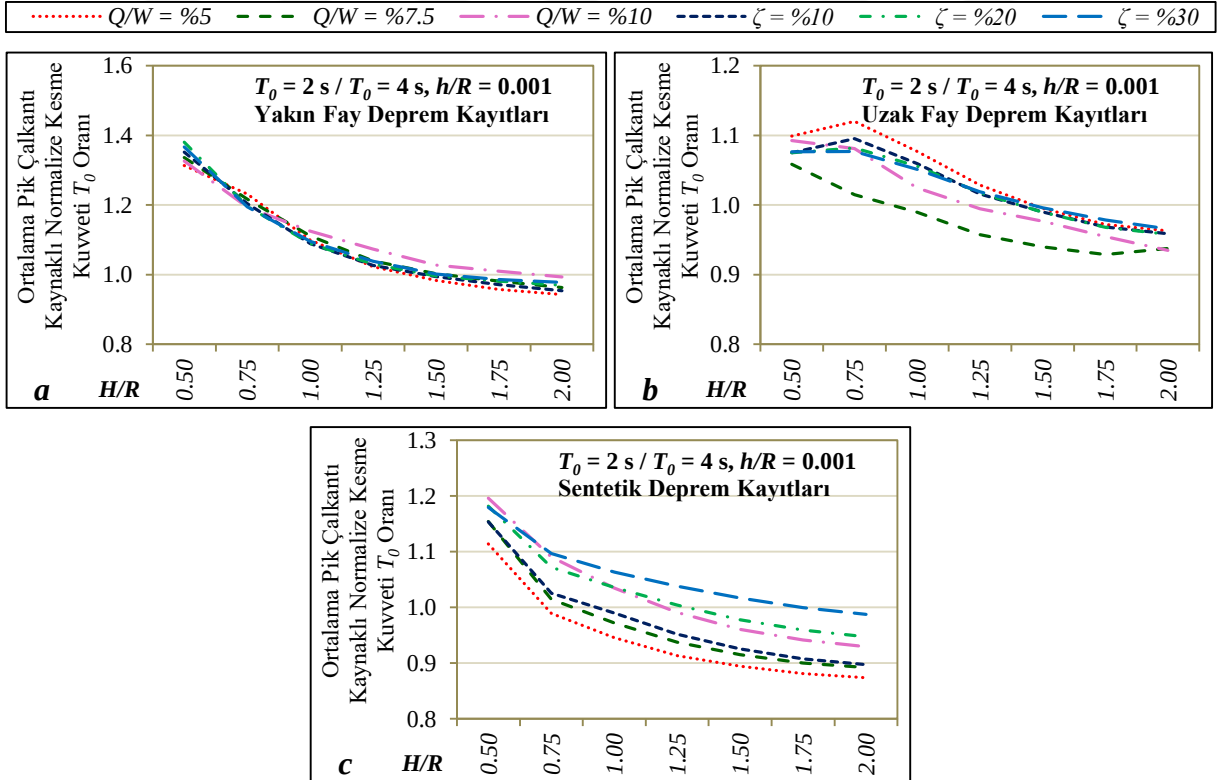
Şekil Ek 11.2: $T_0 = 2 \text{ s}$ izolasyon periyodu için elde edilen ortalama pik çalkantı deplasmanı yanıtlarının $T_0 = 4 \text{ s}$ izolasyon periyodu için elde edilenlere oranı.



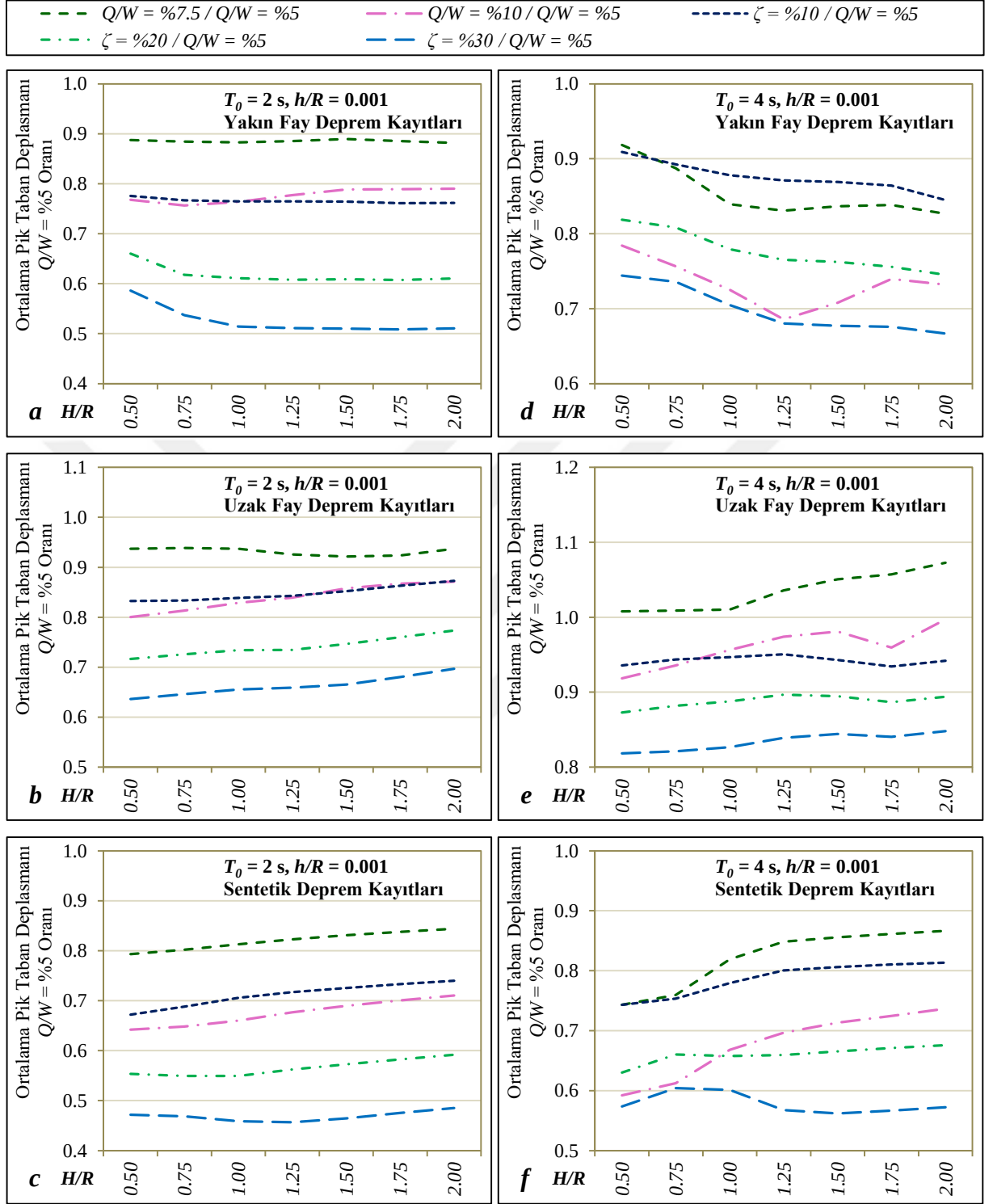
Şekil Ek 11.3: $T_0 = 2 \text{ s}$ izolasyon periyodu için elde edilen ortalama pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti yanıtlarının $T_0 = 4 \text{ s}$ izolasyon periyodu için elde edilenlere oranı.



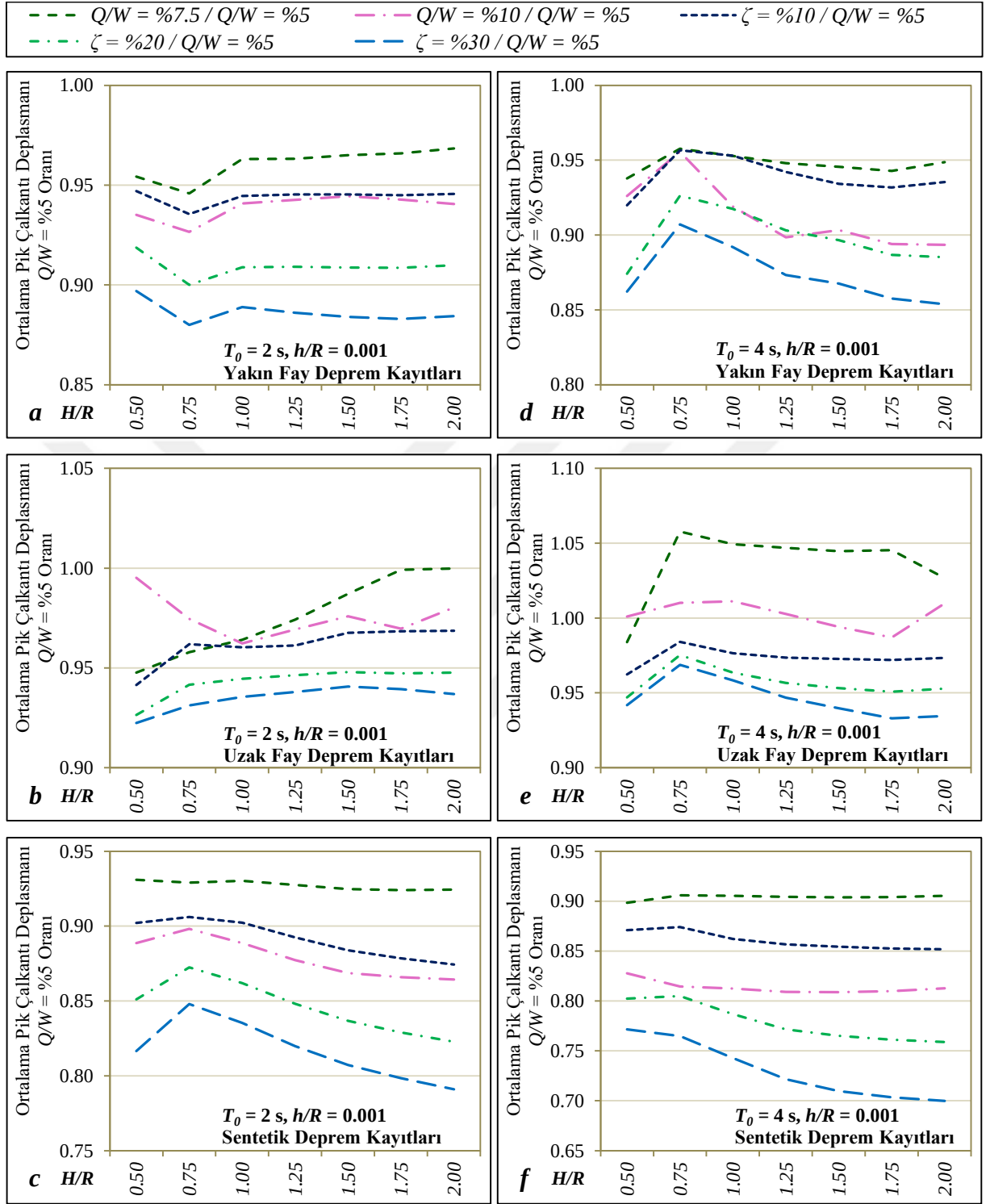
Şekil Ek 11.4: $T_0 = 2 \text{ s}$ izolasyon periyodu için elde edilen ortalama pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtlarının $T_0 = 4 \text{ s}$ izolasyon periyodu için elde edilenlere oranı.



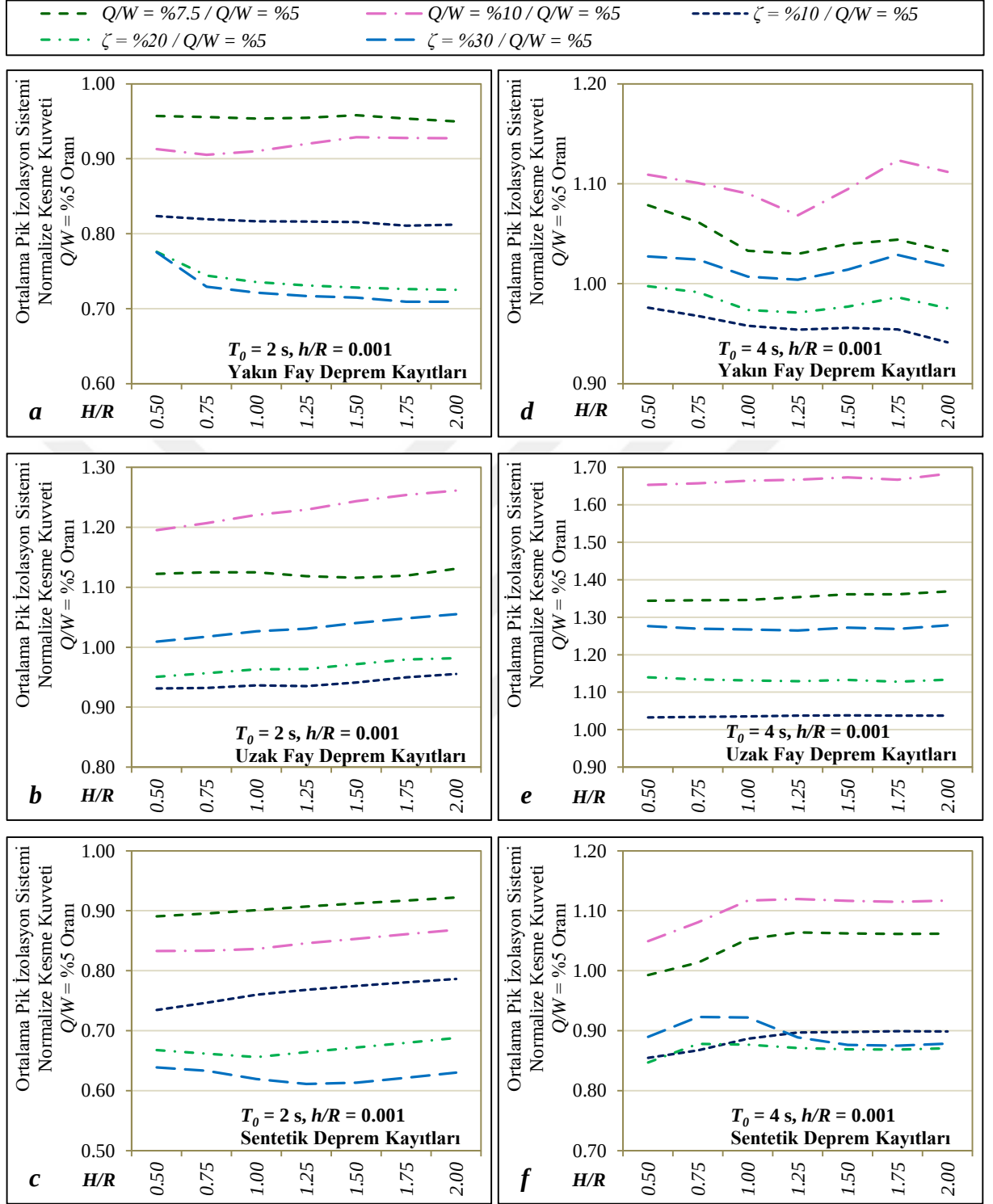
Şekil Ek 11.5: $T_0 = 2 \text{ s}$ izolasyon periyodu için elde edilen ortalama pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtlarının $T_0 = 4 \text{ s}$ izolasyon periyodu için elde edilenlere oranı.



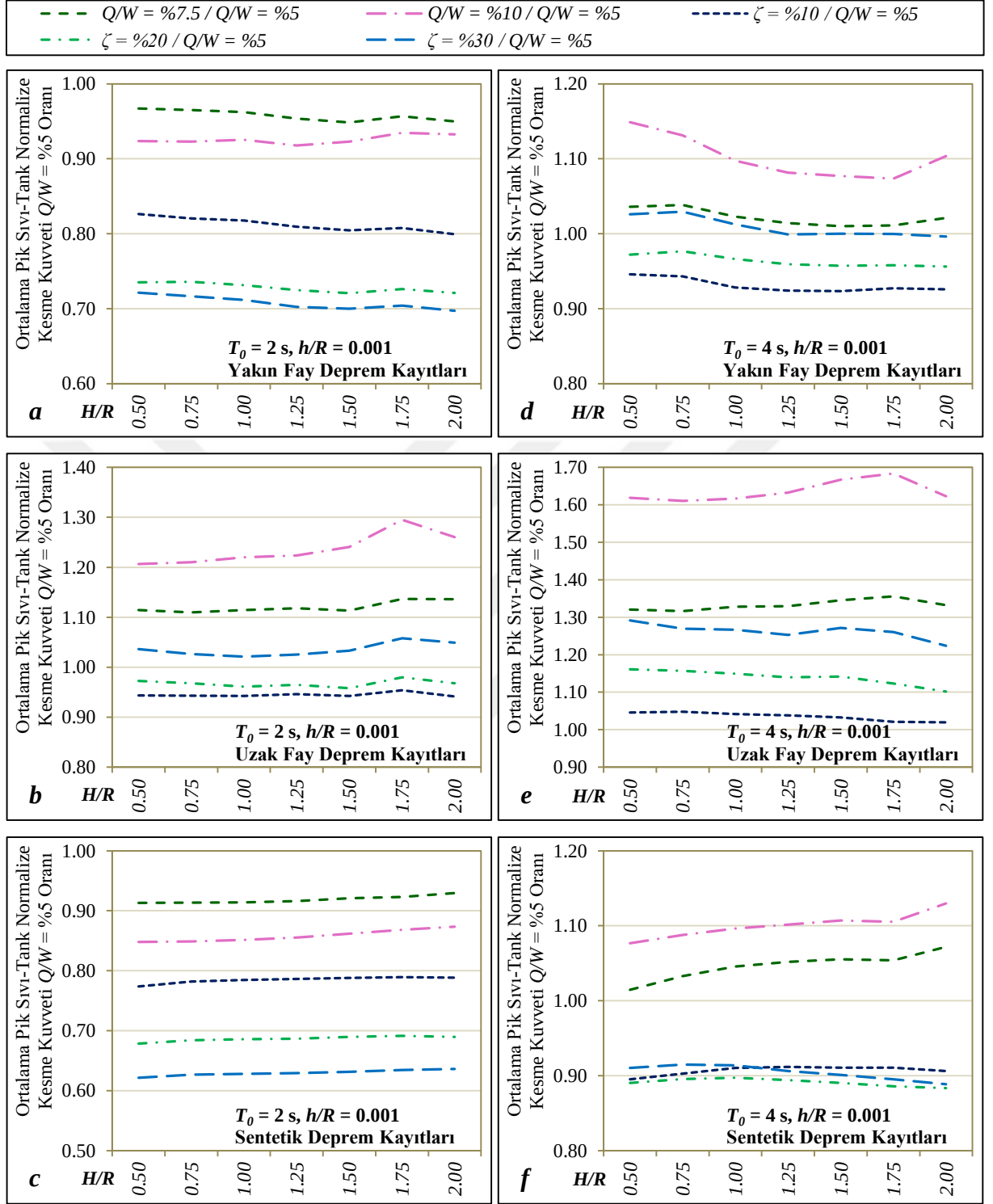
Şekil Ek 11.6: Farklı Q/W ve ζ oranları için elde edilen ortalama pik taban deplasmanı yanıtlarının $Q/W = \%5$ (yani $\zeta = \%0$) durumuna oranları.



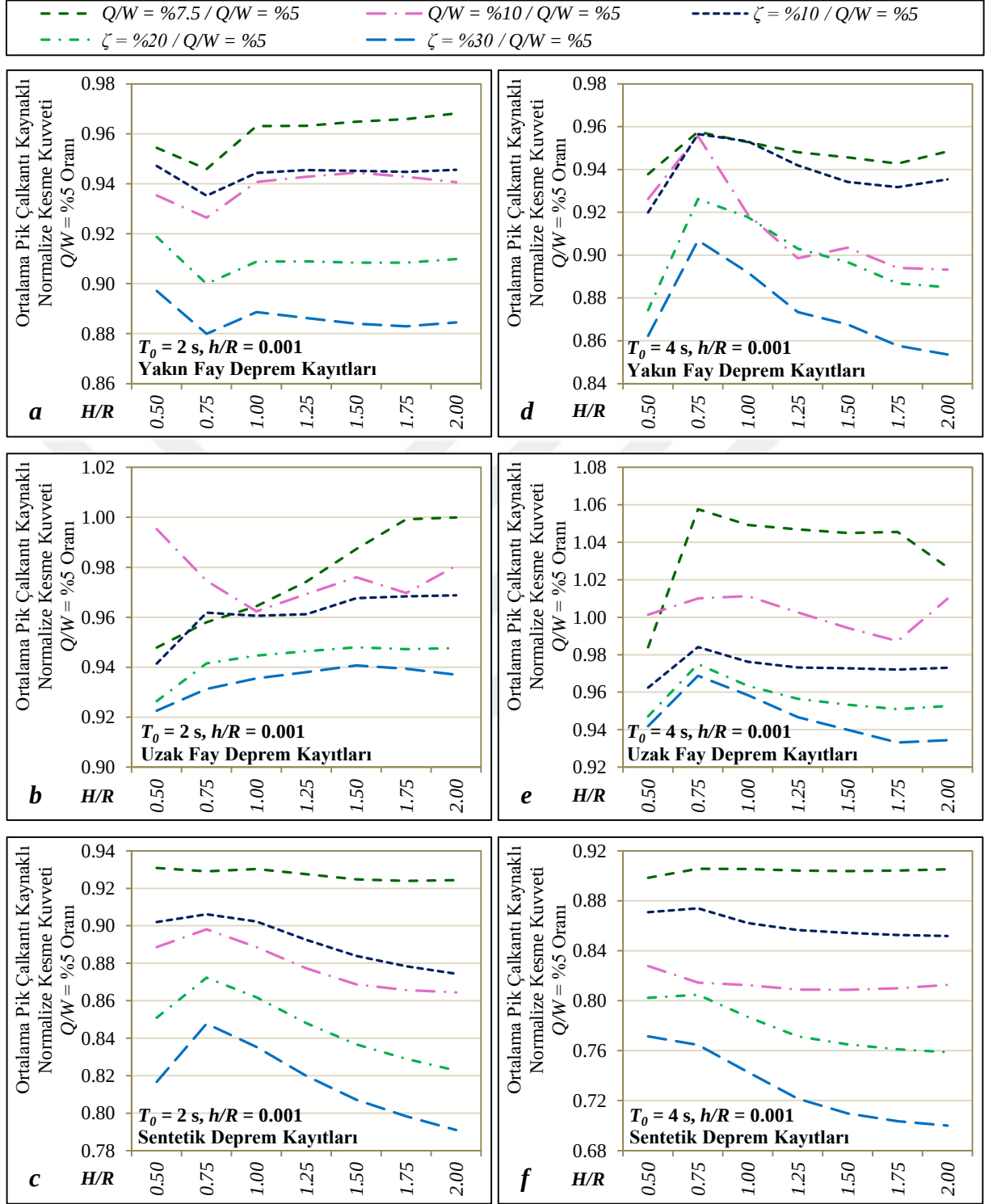
Şekil Ek 11.7: Farklı Q/W ve ζ oranları için elde edilen ortalama pik çalkantı deplasmanı yanıtlarının $Q/W = \%5$ (yani $\zeta = \%0$) durumuna oranları.



Şekil Ek 11.8: Farklı Q/W ve ζ oranları için elde edilen ortalama pik izolasyon sistemi normalize kesme kuvveti yanıtlarının $Q/W = \%5$ (yani $\zeta = \%0$) durumuna oranları.



Şekil Ek 11.9: Farklı Q/W ve ζ oranları için elde edilen ortalama pik sıvı-tank normalize kesme kuvveti yanıtlarının $Q/W = \%5$ (yani $\zeta = \%0$) durumuna oranları.



Şekil Ek 11.10: Farklı Q/W ve ζ oranları için elde edilen ortalama pik çalkantı kaynaklı normalize kesme kuvveti yanıtlarının $Q/W = \%5$ (yani $\zeta = \%0$) durumuna oranları.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Elif GÜLER
Doğum Yeri	Fatih
Doğum Tarihi	01.05.1986
Uyruğu	☒ T.C. ☐ Diğer:
Telefon	0 553 497 23 49
E-Posta Adresi	guler.elif@gmail.com
Web Adresi	-



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	İnşaat Mühendisliği Bölümü
Mezuniyet Yılı	27.06.2008

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	İnşaat Mühendisliği Programı
Mezuniyet Yılı	06.12.2013

Doktora	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Enstitü Adı	Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Anabilim Dalı	İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	İnşaat Mühendisliği Programı

Makale ve Bildiriler	
Güler, E. and Alhan, C., 2019, Effectiveness of non-linear fluid viscous dampers in seismically isolated buildings, <i>Earthquakes and structures</i> , ..., ...-....	
Güler, E. and Alhan, C., 2019, Effect of accidental eccentricity on the isolation system responses of cylindrical liquid storage tanks, <i>III. International conference on engineering technology and innovation</i> , 17-21 April 2019 Belgrade, Serbia.	
Alhan, C., Gazi, H. and Güler, E., 2018, Influence of isolation system characteristic strength on the earthquake behavior of base-isolated liquid storage tanks, <i>Indian journal of engineering and materials sciences</i> , 25, 346-352.	
Öncü-Davas, S., Gazi, H., Güler, E. and Alhan, C., 2018, <i>Comparison of ground motion pulse models for the seismic response of seismically isolated liquid storage tanks</i> ,	

Earthquake engineering and structural dynamics in memory of Ragnar Sigbjörnsson, In: Rupakhety, R. and Olafsson, S. (eds.), Chapter 7, Springer International Publishing AG, Geotechnical, geological and earthquake engineering, ISBN:978-3-319-62098-5, 143-157.

Güler, E., Gazi, H. and Alhan, C., 2017, Sensitivity of the seismic performance of liquid storage tanks with nonlinear isolation systems to deviations in mechanical characteristics of the seismic isolators, *6th ECCOMAS Thematic conference on computational methods in structural dynamics and earthquake engineering*, 15-17 June 2017 Rhodes Island, Greece, C18237, online.

Güler, E., Alhan, C. and Gazi, H., 2017, Liquid storage tanks with linear isolation systems: sensitivity of seismic performance to deviations in effective stiffness and damping, *2nd International conference on civil and environmental engineering*, 8-10 May 2017 Nevşehir, Türkiye, 620-629.

Alhan, C., Güler, E. and Gazi, H., 2016, Behavior of base-isolated liquid storage tanks under synthetic near-fault earthquake pulses, *Fifth international symposium on life-cycle civil engineering*, 16-19 October 2016 Delft, Holland, 515, 2415-2419.

Güler, E. and Alhan, C., 2015, Seismic performance comparison of linear and nonlinear viscous dampers in base-isolated buildings, *Tenth pacific conference on earthquake engineering building an earthquake-resilient pacific*, 6-8 November 2015 Sydney, Australia, 48, online.